



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

TREBALL DE FINAL DE GRAU

DISSENY I MODELAT D'UN KART ELÈCTRIC PER A LA COMPETICIÓ GRAU EN ENGINYERIA MECÀNICA

Autora: Alicia Parra Morillo

Director del treball: Carlos Gustavo Díaz González

Convocatòria de la entrega: 30 de setembre de 2019

Abstrac

El present projecte tracta del disseny estructural i mecànic d'un kart propulsat totalment per energia elèctrica i seguint tota la normativa vigent en referència a les competicions del karting elèctric existents.

El que es vol aconseguir amb el projecte és poder dissenyar un kart el qual es pugui construir en un futur amb els components especificats i tenint una idea del pressupost necessari per portar-lo a terme. També es vol veure els diferents elements dels quals està compost i quina és la importància de cadascú. El kart que es dissenyarà serà amb especificacions estàndards, és a dir, no es dissenyarà per a una pista específica sinó que es crearà un vehicle base amb reglats bàsics.

Per a la realització del projecte, primerament es plantejarà l'estudi dels components realitzat, així com les eleccions dels components que millor encaixen segons els objectius marcats. A continuació es realitzarà el disseny dels components i dels sistemes de propulsió i direcció amb el posterior modelatge de cadascun dels components. El projecte finalitzarà amb un estudi estàtic i en ordre de marxa per determinar la resistència i les prestacions vehiculars del mateix.

TAULA DE CONTINGUTS

| | | |
|------------------|--|-----------|
| CAPÍTOL 1 | DEFINICIÓ DEL TREBALL | 11 |
| 1.1. | Objecte..... | 11 |
| 1.2. | Abast..... | 12 |
| 1.3. | Especificacions bàsiques | 13 |
| 1.4. | Planificació | 14 |
| 1.5. | Justificació | 15 |
| CAPÍTOL 2 | ESTAT DE L'ART | 16 |
| 2.1. | Història | 16 |
| 2.2. | Reglamentació | 18 |
| 2.2.1. | Definició de la categoria de competició..... | 18 |
| 2.2.2. | Requeriments globals..... | 19 |
| 2.2.3. | Requeriments de l'estructura principal..... | 20 |
| 2.2.3.1. | Xassís..... | 20 |
| 2.2.3.2. | Para-xocs..... | 22 |
| 2.2.3.3. | Safata | 22 |
| 2.2.3.4. | Carrosseria | 23 |
| 2.2.4. | Requeriments per a la mecànica | 24 |
| 2.2.4.1. | Transmissió | 24 |
| 2.2.4.2. | Suspensió | 25 |
| 2.2.4.3. | Frens | 25 |
| 2.2.4.4. | Direcció..... | 26 |
| 2.2.4.5. | Seient | 26 |
| 2.2.5. | Requeriments per a les rodes..... | 27 |
| 2.2.6. | Requeriments de la unitat de potència..... | 27 |
| 2.2.6.1. | Motor elèctric | 27 |
| 2.2.6.2. | Bateries..... | 28 |
| 2.3. | Estudi de la competència | 31 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| CAPÍTOL 3 | ESTUDI DELS COMPONENTS | 32 |
| 3.1. | Xassís | 32 |
| 3.1.1. | Composició | 32 |
| 3.1.1.1. | Bastidor | 32 |
| 3.1.1.2. | Parts principals | 32 |
| 3.1.1.3. | Parts auxiliars | 33 |
| 3.1.2. | Elecció de la fabricació | 33 |
| 3.2. | Motor elèctric | 34 |
| 3.2.1. | Tipus de motors per als vehicles elèctrics | 34 |
| 3.2.1.1. | Motors asíncrons | 34 |
| 3.2.1.2. | Motors síncrons | 35 |
| 3.2.1.3. | Motors brushless | 36 |
| 3.2.1. | Elecció del motor | 36 |
| 3.3. | Bateria | 38 |
| 3.3.1. | Composicions químiques | 38 |
| 3.3.1.1. | Bateria de Plom-Àcid tipus VRLA | 39 |
| 3.3.1.2. | Bateria de Níquel Metall-Hidrur | 39 |
| 3.3.1.3. | Bateries de Liti | 40 |
| 3.3.1.3.1. | Bateria de Liti-ló | 40 |
| 3.3.1.3.2. | Bateria de Polímer de Liti-ló | 40 |
| 3.3.2. | Elecció del tipus de bateries | 40 |
| CAPÍTOL 4 | DISSENY DEL KART | 42 |
| 4.1. | Bastidor | 42 |
| 4.1.1. | Disseny base | 42 |
| 4.1.2. | Material | 43 |
| 4.1.3. | Disseny final | 44 |
| 4.2. | Carrosseria | 46 |
| 4.2.1. | Carrosseria davantera | 46 |
| 4.2.1.1. | Carenat davanter | 47 |
| 4.2.1.2. | Spoiler | 49 |
| 4.2.2. | Carrosseria lateral | 50 |
| 4.2.3. | Para-xocs posterior | 51 |
| 4.2.4. | Floor tray | 52 |
| 4.3. | Sistema de direcció | 54 |
| 4.3.1. | Pius | 54 |
| 4.3.2. | Varetes de direcció | 56 |
| 4.3.3. | Columna de direcció | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.4. Volant | 59 |
| 4.4. Sistema de la Unitat de Potència | 61 |
| 4.4.1. Eix posterior | 61 |
| 4.4.2. Unitat de Potència | 63 |
| 4.4.2.1. Motor elèctric | 63 |
| 4.4.2.2. Bateria | 65 |
| 4.4.2.3. Pedal d'accionament..... | 67 |
| 4.4.3. Sistema de transmissió | 67 |
| 4.4.4. Sistema de frenada | 69 |
| 4.5. Seient | 71 |
| 4.6. Rodes | 73 |
| CAPÍTOL 5 SIMULACIONS..... | 74 |
| 5.1. Anàlisi de les prestacions..... | 74 |
| 5.1.1. Màxima velocitat en pla | 74 |
| 5.1.1.1. Màxima velocitat per condicions de potència | 74 |
| 5.1.1.2. Màxima velocitat per condicions de transmissió..... | 75 |
| 5.1.2. Màxima acceleració..... | 76 |
| 5.1.3. Màxima pendent superable | 77 |
| 5.2. Anàlisi per Elements Finites..... | 79 |
| 5.2.1. Anàlisi estàtic | 79 |
| 5.2.1.1. Càlcul de les reaccions | 79 |
| 5.2.1.2. Model de simulació | 80 |
| 5.2.1.3. Resultats..... | 80 |
| 5.2.2. Anàlisi en ordre de marxa..... | 84 |
| 5.2.2.1. Càlcul de les reaccions | 84 |
| 5.2.2.2. Model de simulació | 85 |
| 5.2.2.3. Resultats..... | 85 |
| CAPÍTOL 6 MODEL FINAL | 89 |
| CAPÍTOL 7 PRESSUPOST | 91 |
| CAPÍTOL 8 MEDI AMBIENT..... | 94 |
| CAPÍTOL 9 CONCLUSIONS..... | 96 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 97 |

| | |
|---|-----------|
| ANNEX..... | 99 |
| A1. Declaració d'honor..... | 99 |
| A2. Auto-informe de qualitat..... | 100 |
| A3. CÀLCULS..... | 101 |
| A3.1. Resistència al moviment | 101 |
| A3.2. Rendiment de la transmissió | 104 |
| A3.3. Força motriu..... | 104 |
| A4. PLÀNOLS..... | 105 |

LLISTA DE FIGURES

| | |
|--|----|
| Figura 1. Croquis de les dimensions límit del xassís | 21 |
| Figura 2. Technical Drawing No. 2a | 22 |
| Figura 3. Technical Drawing No.2b I | 23 |
| Figura 4. Technical Drawing No.2b II | 24 |
| Figura 5. Gràfic comparatiu del tipus de bateries | 41 |
| Figura 6. Geometria i dimensions bàsiques del bastidor del Birel Cry32 | 43 |
| Figura 7. Dimensions base del disseny final del bastidor | 45 |
| Figura 8. Elements principals de la carrosseria | 46 |
| Figura 9. Elements de la carrosseria frontal | 47 |
| Figura 10. Dimensions del carenat davanter | 47 |
| Figura 11. Unió del carenat davanter | 48 |
| Figura 12. Dimensions dels suports dels para-xocs frontals | 48 |
| Figura 13. Dimensions del spoiler | 49 |
| Figura 14. Subjeccions del spoiler | 49 |
| Figura 15. Elements de la carrosseria lateral | 50 |
| Figura 16. Dimensions de la carrosseria lateral | 50 |
| Figura 17. Dimensions dels suports laterals la xassís | 51 |
| Figura 18. Elements del para-xocs posterior | 51 |
| Figura 19. Dimensions de la carrosseria posterior | 52 |
| Figura 20. Sistema de fixació de la carrosseria posterior | 52 |
| Figura 21. Dimensions del floor tray a partir del bastidor | 53 |
| Figura 22. Dimensions del terra del kart | 53 |
| Figura 23. Elements del sistema de direcció | 54 |
| Figura 24. Connexions dels pius | 54 |
| Figura 25. Angles d'inclinació del suport | 55 |
| Figura 26. Dimensions piu | 55 |
| Figura 27. Dimensions suport piu | 56 |
| Figura 28. Dimensions caixa davantera | 56 |
| Figura 29. Conjunt de la vareta de direcció | 57 |
| Figura 30. Distància màxima de la vareta de direcció | 57 |
| Figura 31. Ròtula per a la vareta de direcció | 58 |
| Figura 32. Conjunt columna de direcció | 58 |
| Figura 33. Dimensions columna de direcció | 58 |
| Figura 34. Suports de la columna de direcció | 59 |
| Figura 35. Conjunt Volant-Columna de direcció | 59 |
| Figura 36. Dimensions volant | 60 |
| Figura 37. Dimensions caixa per al volant | 60 |
| Figura 38. Conjunt del Sistema d'Unitat de Potència | 61 |
| Figura 39. Conjunt eix posterior | 61 |
| Figura 40. Dimensions eix posterior | 62 |
| Figura 41. Dimensions porta-rodament | 62 |
| Figura 42. Dimensions caixa posterior | 63 |
| Figura 43. Croquis forces que actuen sobre el kart | 64 |

| | |
|---|-----|
| Figura 44. Gràfica relació Parell-Potència-Velocitat del motor elèctric | 65 |
| Figura 45. Dimensions cel·la de 21Ah | 66 |
| Figura 46. Dimensions de la caixa de la bateria..... | 67 |
| Figura 47. Sistema de transmissió | 69 |
| Figura 48. Elements del sistema de frenada | 69 |
| Figura 49. Dimensions porta-disc de fre..... | 70 |
| Figura 50. Dimensions suport pinça de fre | 70 |
| Figura 51. Seient | 71 |
| Figura 52. Ancorament inferior del seient al xassís..... | 71 |
| Figura 53. Subjeccions superiors del seient..... | 72 |
| Figura 54. Roda | 73 |
| Figura 55. Dimensions del neumàtic | 73 |
| Figura 56. Dimensions de la llanta | 73 |
| Figura 57. Croquis forces sobre roda motriu | 74 |
| Figura 58. Reaccions als eixos | 79 |
| Figura 59. Model de simulació per al càlcul estàtic | 80 |
| Figura 60. Deformació total del xassís | 80 |
| Figura 61. Deformació total del xassís a escala real | 81 |
| Figura 62. Deformació total en la zona més desfavorable..... | 81 |
| Figura 63. Tensió equivalent en el xassís | 82 |
| Figura 64. Zona de tensió equivalent màxima..... | 82 |
| Figura 65. Factor de seguretat en condicions estàtiques | 83 |
| Figura 66. Zona de factor de seguretat mínim..... | 83 |
| Figura 67. Model de simulació en ordre de marxa | 85 |
| Figura 68. Deformació total del xassís en ordre de marxa | 86 |
| Figura 69. Tensió equivalent per Von Mises | 86 |
| Figura 70. Zona de màxima tensió en ordre de marxa | 87 |
| Figura 71. Factor de seguretat en ordre de marxa | 87 |
| Figura 72. Zona de factor de seguretat mínim | 88 |
| Figura 73. Model 3D del kart..... | 89 |
| Figura 74. Dimensions principals del kart en perfil | 89 |
| Figura 75. Dimensions principals del kart de front..... | 90 |
| Figura 76. Perfil kart amb flux aerodinàmic | 101 |
| Figura 77. Àrea frontal efectiva | 102 |

LLISTA DE TAULES

| | |
|---|-----|
| Taula 1. Reglaments tècnics consultats | 12 |
| Taula 2. Especificacions tècniques a assolir | 13 |
| Taula 3. Diagrama de Gantt: Febrer-Abril | 14 |
| Taula 4. Diagrama de Gantt: Maig-Juliol | 14 |
| Taula 5. Diagrama de Gantt: Agost-Setembre | 14 |
| Taula 6. Estudi de la competència I | 31 |
| Taula 7. Estudi de la competència II | 31 |
| Taula 8. Fabricació del xassís: avantatges i inconvenients | 33 |
| Taula 9. Taula comparativa de motors elèctrics | 37 |
| Taula 10. Taula comparativa dels tipus de bateries per a VE | 41 |
| Taula 11. Composició química típica del SAE 4130 | 44 |
| Taula 12. Propietats mecàniques del SAE 4130 | 44 |
| Taula 13. Estudi distribucions de les cel·les | 67 |
| Taula 14. Prestacions vehiculars finals | 90 |
| Taula 15. Pressupost desglossat - Xassís | 91 |
| Taula 16. Pressupost desglossat - Carrosseria | 91 |
| Taula 17. Pressupost desglossat - Sistema de direcció | 92 |
| Taula 18. Pressupost desglossat - Eix posterior | 92 |
| Taula 19. Pressupost desglossat - Unitat de potència | 92 |
| Taula 20. Pressupost desglossat - Sistema de frenada | 92 |
| Taula 21. Pressupost desglossat - Altres | 93 |
| Taula 22. Pressupost desglossat - Enginyeria | 93 |
| Taula 23. Pressupost total | 93 |
| Taula 24. Balanç dels objectius | 96 |
| Taula 25. Valors dels coeficients aerodinàmics | 101 |
| Taula 26. Valors del coeficient de rodadura | 102 |

CAPÍTOL 1

DEFINICIÓ DEL TREBALL

1.1. Objecte

L'**objecte del projecte** és el de dissenyar i modelar els components estructurals i de propulsió d'un kart accionat totalment per energia elèctrica amb tots els seus components addicionals. Aquest haurà de ser apte per a la competició en circuits de la categoria, també conegut com a E-Karting.

Els **objectius principals** que es presenten a l'hora de realitzar aquest projecte son els següents:

- Creació d'un vehicle accionat totalment per electricitat apte per a la competició.
- Recerca del màxim rendiment en el menor cost possible alhora de la major lleugeresa assequible.
- Es busca una reducció de l'impacte amb el medi ambient sense perdre la competitivitat davant als karts de competició convencionals.
- Es vol conèixer els components necessaris per fabricar un kart i quin paper juguen.

En l'apartat d'especificacions bàsiques es determinen els valors objectius a assolir durant el projecte.

1.2. Abast

Aquets projecte constarà de quatre parts:

- **Introducció**
Es realitzarà una introducció al projecte i al món de la competició automobilística. A més es presentarà el mètode de treball que es seguirà.
- **Desenvolupament**
Aquesta part consisteix en una recopilació d'informació per tal de poder analitzar-la i escollir els components amb les característiques que més s'ajustin a les necessitats del projecte. També s'inclou els dissenys dels diferents components i les simulacions realitzades.
- **Conclusions**
Inclou el pressupost final del projecte, l'impacte al medi ambient i l'acabat final del kart amb les seves prestacions, a més de les pròpies conclusions on es comentarà el haver assolit els objectius establerts.
- **Annexes**
En aquesta part es presentaran els continguts addicionals que ajudaran a la comprensió del projecte, així com els càlculs complets realitzats i els plànols de les peces dissenyades a fabricar.

Per a la realització del projecte s'utilitzaran les següents eines:

- SOLIDWORKS 2018
- ANSYS Workbench 19.2
- Reglaments tècnics
- Informació addicional obtinguda de fonts d'internet

Els reglaments tècnics que es consultaran, i el quals s'utilitzaran per desenvolupar el treball, son:

| Reglament Tècnic | Organització | Any d'aplicació |
|--|--------------|-----------------|
| Karting Technical Regulations | CIK-FIA | 2019 |
| Technical Regulations for Alternative Energy Vehicles | FIA | 2019 |
| Technical Regulations for Electric Karts | CIK-FIA | 2019 |
| Appendix J – Article 251 Classification and Definitions | FIA | 2019 |
| Appendix J – Article 253 Safety Equipment (Groups N, A, R-GT) | FIA | 2019 |
| Reglamento Técnico Específico Junior | RFEA | 2019 |

Taula 1. Reglaments tècnics consultats

Adicionalment als punts esmentats anteriorment, durant el projecte es tractarà de:

- Anàlisis del reglament tècnic del E-Karting amb la seva consegüent aplicació.

- Anàlisis dels components que conformen un kart i l'elecció dels mateixos.
- Dimensionament de la unitat de potència i el sistema de direcció.
- Ubicació dels elements en el xassís.
- Modelatge en 3D mitjançant SOLIDWORKS 2018 del kart.
- Simulacions estructurals a partir d'anàlisis per elements finits aplicant el software de simulació ANSYS Workbench 19.2.
- Resum de les prestacions del vehicle dissenyat i anàlisis del seu impacte sobre el medi ambient.

No es tindrà en compte a l'hora de dissenyar el kart és:

- Electrònica interna dels components.
- Només es referenciarà a la adquisició de dades pels dispositius necessaris i on aniran ubicats, però no com es faran les connexions i la seva programació.
- En el pressupost no es tindran en compte els metres de cablejat.

1.3. Especificacions bàsiques

Per a la realització del projecte es tindran en compte una sèrie de especificacions que seran clau. Aquestes són:

- **Autonomia** de la bateria
- **Potència** del motor
- **Velocitat màxima** que podrà arribar el kart
- **Pes** total (amb pilot inclòs) del vehicle
- **Preu** final per a la seva construcció

Per aquestes especificacions, s'estableixen uns valors objectius a assolir per a les prestacions del kart final:

| MOTOR | | | BATERIA | | |
|---------------------|-----------------------------|----------|-----------|--------|----------|
| Velocitat màxima | Acceleració (0 a 100 km) | Potència | Autonomia | Pes | Preu |
| 130 km/h | 5 s | 30 kW | 40 min | 180 kg | 15.000 € |

Taula 2. Especificacions tècniques a assolir

Aquests valors s'aplicaran per fer els càlculs aproximatius dels components. Cal remarcar que el preu objectiu només es té en compte els components i no els valors addicionals d'enginyeria.

1.4. Planificació

A continuació es presenta el diagrama de Gantt seguit per a la realització del projecte:

| ID | TASCA | FEB. | | | MARÇ | | | | ABRIL | | | |
|-----|--------------------------|------|----|----|------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| | | W7 | W8 | W9 | W10 | W11 | W12 | W13 | W14 | W15 | W16 | W17 |
| 1 | DEFINICIÓ DEL TREBALL | | | | | | | | | | | |
| 1 1 | Objectiu | | | | | | | | | | | |
| 1 2 | Abast | | | | | | | | | | | |
| 1 3 | Especificacions bàsiques | | | | | | | | | | | |
| 1 4 | Planificació | | | | | | | | | | | |
| 1 5 | Justificació | | | | | | | | | | | |
| 2 | ESTAT DE L'ART | | | | | | | | | | | |
| 2 1 | Història | | | | | | | | | | | |
| 2 2 | Reglamentació | | | | | | | | | | | |
| 2 3 | Estudi de la competència | | | | | | | | | | | |

Taula 3. Diagrama de Gantt: Febrer-Abril

| | | MAIG | | | | | JUNY | | | | JULIOL | | | | |
|-----|------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|
| ID | TASCA | W18 | W19 | W20 | W21 | W22 | W23 | W24 | W25 | W26 | W27 | W28 | W29 | W30 | W31 |
| 3 | RECOLLIDA D'INFORMACIÓ | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 1 | Xassís | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 2 | Sistema de direcció | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 3 | Motor elèctric | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 4 | Bateria | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 1 | Bastidor | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 2 | Carrosseria | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 3 | Sistema de direcció | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 4 | Unitat de potència | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 5 | Seient | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 6 | Rodes | | | | | | | | | | | | | | |

Taula 4. Diagrama de Gantt: Maig-Juliol

| ID | TASCA | AGOST | | | | SET. | | | |
|------|-----------------------------------|-------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | | W32 | W33 | W34 | W35 | W36 | W37 | W38 | W39 |
| 4 | DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE | | | | | | | | |
| 4 1 | Bastidor | | | | | | | | |
| 4 2 | Carrosseria | | | | | | | | |
| 4 3 | Sistema de direcció | | | | | | | | |
| 4 4 | Unitat de potència | | | | | | | | |
| 4 5 | Seient | | | | | | | | |
| 4 6 | Rodes | | | | | | | | |
| 5 | SIMULACIONS | | | | | | | | |
| 5 1 | Anàlisi de les prestacions | | | | | | | | |
| 5 2 | Elements Finitis - Estudi estàtic | | | | | | | | |
| 5 3 | Elements Finitis - Ordre de marxa | | | | | | | | |
| 6 | MODEL EN 3D | | | | | | | | |
| 7 | PRESSUPOST | | | | | | | | |
| 8 | MEDI AMBIENT | | | | | | | | |
| 9 | CONCLUSIONS | | | | | | | | |
| 10 | BIBLIOGRAFIA | | | | | | | | |
| 11 | ANNEXE | | | | | | | | |
| 11 1 | Desenvolupament dels Càlculs | | | | | | | | |
| 11 2 | Plànols | | | | | | | | |

Taula 5. Diagrama de Gantt: Agost-Setembre

1.5. Justificació

Aquest projecte s'ha realitzat amb la intenció de poder desenvolupar-lo en un futur més professionalment i amb majors coneixements sobre el disseny i funcionament de vehicles elèctrics.

El tema de desenvolupar un kart apte per a la competició ve de la meua afició a l'automobilisme i el desig de dedicar-me professionalment a aquest esport en el meu futur laboral.

El kart proporciona el coneixement bàsic del funcionament dels vehicles de rodes propulsats per un motor, ja sigui de combustió o elèctric, per que consta d'una estructura bàsica (xassís i carrosseria), un sistema de direcció i un sistema de transmissió de la potència i no ha de portar suspensió. També ajuda a comprendre tots els elements que afecten directament al comportament i rendiment d'aquest i com millorar-ho.

L'elecció del motor elèctric per impulsar el kart envers d'un motor de combustió convencional ve donat pel fet d'impulsar mètodes alternatius que no contaminin, com és el cas de l'electricitat. També perquè és un sector en el qual es comença a desenvolupar a nivell més comercial i les competicions automobilístiques existents comencen a tenir experiència. Per contra, això pot provocar l'inconvenient de la falta d'informació tant de recursos com de normativa.

CAPÍTOL 2

ESTAT DE L'ART

2.1. Història

El kart, segons la FIA, és un monoplaça terrestre sense sostre o *cockpit*, sense suspensions i amb o sense elements de carrosseria, amb quatre rodes no alineades que estan en contacte amb el terra, les dos davanteres que controlen la direcció i les dos del darrere, connectades per un eix d'una sola peça, transmeten la potència.

Aquest vehicle es va crear per primer cop al 1956, a Califòrnia, a partir d'un tallagespa i fins al 1958 no es va començar a comercialitzar. Aquest primers vehicles podien arribar a superar els 50 km/h. Uns anys després, cap a principis dels anys 60, es va introduir el karting a Europa, principalment per França i Anglaterra. Però no va ser fins a l'any 1962 que la FIA va decidir crear la Comissió Internacional de Karting (CIK) per tal regular les competicions i les diferents federacions que existien per tot el món. A Espanya, el karting arribaria als anys 70.

Actualment, el karting es considera una categoria de formació per als pilots més joves (a partir dels 8 anys) que es volen introduir en el món de l'automobilisme, ja que la competició té limitacions en la reglamentació segons les diferents categories. La gran majoria d'aquestes competicions són per a kart de combustió, però cada vegada més es van creant competicions de karting elèctric.

La primera competició on només podien participar karts cent per cent elèctrics va ser al 2007 amb el **E-Karting**, una competició suport a la FIA Alternative Energies Cup (actualment coneguda com Electric and New Energy Championship). Existeixen altres competicions per a kart elèctrics, com la Electric GT Championship (competició suport a la Electric GT Championship), sense data oficial d'inici, o la Deutsche Kart-Meisterschaft, organitzada per la German MotorSport Federation per al 2019.

A més de les competicions de karting, també existeixen d'altres on només participen vehicles elèctrics. Aquestes són:

- **Electric and New Energy Championship (ENEC)**, la qual acull les competicions de E-Rally Regularity Cup i la Solar Cup, juntament amb el E-Karting, des del **2007**.
- **Formula E**, una competició de monoplaques estil Formula 1 i la qual està activa des del **2014** i cada vegada s'està popularitzant més.
- La **FIA Junior eRX Championship** amb l'anunci del seu començament per al **2021**.
- En el cas del **World Rallycross Championship (WRX)**, s'ha anunciat que pel **2021** entraran en competició els vehicles elèctrics fent que, a llarg termini, en la competició només hi puguin participar vehicles d'aquest tipus.
- La **Electric GT Championship** és una competició internacional on participen 10 cotxes Tesla en una versió modificada apta per a la competició. Es planteja la seva inauguració al **2018** però per falta d'inversors ha quedat ajornada sense cap data confirmada.

2.2. Reglamentació

En aquest apartat s'especificaran les condicions tècniques que es requereixen i que afectin al monoplaça. Es seguirà l'orde que presenta el *RTEK* i es dividiran en subgrups segons les seves funcions.

Cal dir que només s'inclouran els articles dels reglaments que afectin directament al treball, és a dir, als components que es vagin a dissenyar i dimensionar.

2.2.1. Definició de la categoria de competició

Abans de tot, és important definir la categoria amb la que es definirà el kart ja que això portarà restriccions a l'hora del seu disseny. Per poder determinar aquesta categoria cal buscar, primerament, en el *RTK*, perquè la principal categoria de competició ja definida és la de monoplaça estil kart.

En aquest reglament es categoritza millor la competició del karting segons el tipus de motor utilitzat (de combustió o elèctric) i, en cas de ser un motor de combustió, es categoritza segons la cilindrada d'aquest. Per aquest projecte, s'utilitzarà un motor elèctric per moure el kart, per tant, les característiques específiques per la categoria que afecten al projecte es defineixen en l'article 17:

ARTICLE 17

Normativa específica per a karts elèctrics

Mirar el llibre 8 de l'Anuari Del Esport Automobilístic de la FIA: Reglament Tècnic de Vehicles d'Energia Alternativa

Aquest article s'està especificant que les regulacions tècniques específiques per aquests tipus de vehicles es troben en un altre reglament tècnic, en el de vehicles d'energia alternativa definit per la FIA. En aquest es torna a subcategoritzar segons el tipus de competició es vol participar, aquestes categories es poden trobar en l'Article 1.1 on es defineixen les categories de competició.

ARTICLE 1.1

Categories

Els vehicles utilitzats en competicions es classifiquen de la següent manera:

Categoria II: Vehicles transformats, modificats y prototips elèctrics

Categoria III: Vehicles de producció en sèrie accionats elèctricament

Categoria IIIA: Vehicles elèctrics de producció en sèrie per a utilitat diària

Categoria IV: Vehicles lleugers de propulsió elèctrica

Categoria V: Monoplaces elèctrics

Categoria VI: Prototips de carreres esportives

Categoria VII: Vehicles elèctrics híbrids

Categoria VIII: Altres vehicles d'energia alternativa

Com s'ha definit en l'apartat anterior, un kart es considera un monoplaça, per tant, pertany a la categoria V. Si es consulta l'Article 2.6.1 d'aquest mateix reglament on es defineix el tipus de vehicle, es determina la classe a la qual pertany i, per tant, es determinarà el pes mínim i màxim autoritzat.

ARTICLE 2.6.1

Vehicles oberts de quatre rodes (Classe 1) (Electro-Kart) amb un seient, amb restriccions de construcció, sense suspensions. Per a utilitat només en camins tancats i no per pujar turons.

Els Electro-Karts es divideixen en dos grups, depenent de la química de les bateries (veure Article 7.12).

2.2.2. Requeriments globals

Els requeriments globals són aquelles reglamentacions que afecten al conjunt del kart com és el cas del pes mínim i màxim reglament i les dimensions del vehicle.

Les **dimensions** que ha de complir el conjunt del kart es troba en el reglament 2.4.1 on s'especifica:

ARTICLE 1.4.1**Especificacions tècniques**

Distància entre eixos: mínim 101 cm

màxim 107 cm

Pista: al menys 2/3 de la distància entre eixos utilitzada.

Longitud total: 182 cm màxim sense carenat davanter i/o posterior.

Amplada total: 140 cm màxim

Altura: 64 cm des del terra, seient exclòs.

Cap part es pot projectar més enllà del quadrilàter format pel carenat frontal, la protecció posterior i les rodes, excepte en cas de cursa en mullat.

Pel que fa a la reglamentació sobre el **pes** autoritzat, es recull en l'article 2.4.2 on es divideix en subgrups segons la **composició química de la bateria** utilitzada. Aquesta es determinarà més endavant, amb la qual cosa també els límits de massa del vehicle. De forma més general, al determinar-se la classe en la que pertany aquest tipus de vehicles, es pot saber els límits dels pesos permesos segons l'Article 1.2 punt 1.

ARTICLE 1.2.**Classes de pes**

Els vehicles es divideixen en les següents classes de pes (per a la seva definició, mireu l'Article 3.1.1):

- 1. Els vehicles amb un pes de fins 150Kg (en Cat. Classe V 1: Grup 1 fins a 270Kg, Grup 2 fins a 232 Kg – conductor inclòs, mireu l'Article 7.12).*

2.2.3. Requeriments de l'estructura principal

En aquest apartat s'ha englobat tot el referent a l'estructura del kart, és a dir, tots els requeriments sobre el xassís, els para-xocs, la safata i la carrosseria.

2.2.3.1. Xassís

El reglament tècnic que regula la normativa i, el qual es seguirà per desenvolupar el treball, és el TREK. En aquest, el xassís es divideix en tres parts: el bastidor, les parts principals i les parts auxiliars.

En l'Article 2.3.3.3 es determina els requeriments que ha de complir el **bastidor**:

ARTICLE 2.3.3.3

Requirements

- *Construcció tubular d'acer "magnetitzada" amb secció cilíndrica. Una peça amb peces soldades que no es poden desmuntar.*
- *Sense connexions (mòbil en 1, 2 o 3 eixos).*
- *La flexibilitat del bastidor del xassís es correspon amb els límits d'elasticitat de la construcció tubular.*

Pel que fa a la reglamentació del **material** per a la construcció del bastidor, en l'Article 2.3.3.4 s'especifica la nomenclatura i el tipus d'acer permès.

ARTICLE 2.3.3.4

Material

Acer estructural magnètic o alineació estructural que compleix amb les classificacions ISO 4948 i les designacions ISO 4949.

Els acers aliats que tinguin al menys un element permès en el contingut de massa sigui $\geq 5\%$ estan prohibits.

[...]

Les **parts principals** del xassís venen reglamentades en l'Article 2.3.4.3 juntament amb una taula de diàmetres equivalents per al eix de darrere que es troba en els annexes.

ARTICLE 2.3.4.3

Requirements

Totes les parts principals del xassís tenen que estar sòlidament unides entre si o al bastidor del xassís.

Es necessària una construcció rígida, sense articulacions (mòbil en 1, 2 o 3 eixos).

Les connexions articulades només estan autoritzades per el suport convencional de la rosca de direcció i per la direcció. [...]

Esta prohibit qualsevol dispositiu d'absorció hidràulic o pneumàtic contra les oscil·lacions.

L'eix del darrere ha de tenir un diàmetre exterior màxim de 50 mm i un gruix mínim de paret de 1,9 en tots els punts, si s'utilitza un motor elèctric.

[...]

Com en el cas de les parts principals del xassís, els requeriments per a les **parts auxiliars** del xassís venen especificats en l'Article 2.3.5.3.

ARTICLE 2.3.5.3

Requeriments

Les peces auxiliars tenen que estar sòlidament fixades. Les connexions flexibles estan autoritzades.

Tots els elements que contribueixen al normal funcionament del kart tenen que complir amb el Reglament. Aquestes parts tenen que ser muntades per a que no es caiguin mentre que el kart esta en moviment.

Les **dimensions límits** que ha de tenir el xassís, així com en conjunt amb la carrosseria, ve definit per la CIK-FIA en el reglament. En la següent imatge es pot veure un croquis de totes les dimensions límit establertes per la CIK-FIA.

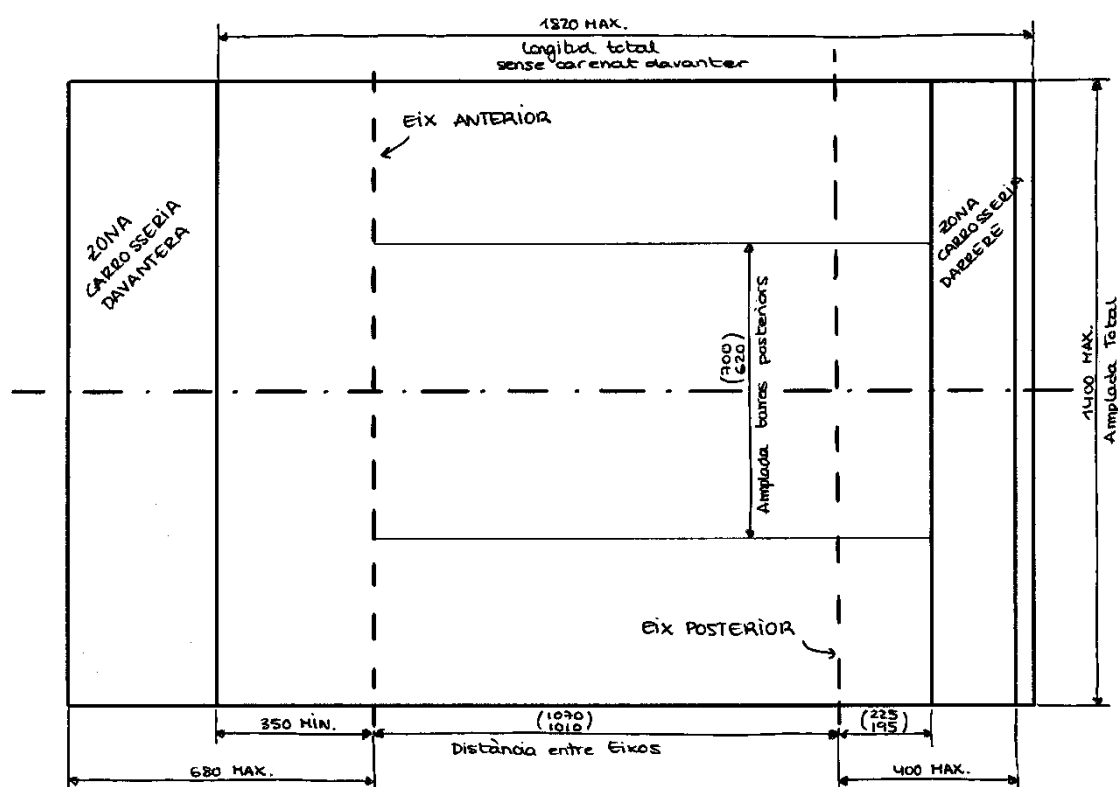


Figura 1. Croquis de les dimensions límit del xassís

2.2.3.2. Para-xocs

Tota la normativa referent als para-xocs està compresa en l'article 2.5. Com en aquest cas seran elements comercials que ja hauran passat les homologacions, només es presentarà els punts que es faran servir per a l'elecció d'aquests.

ARTICLE 2.5

Para-xocs

*És obligatori l'ús dels para-xocs frontal, posterior i laterals.
[...]*

En el *Technical Drawing No. 2a* es resum les mesures que ha de tenir aquests para-xocs.

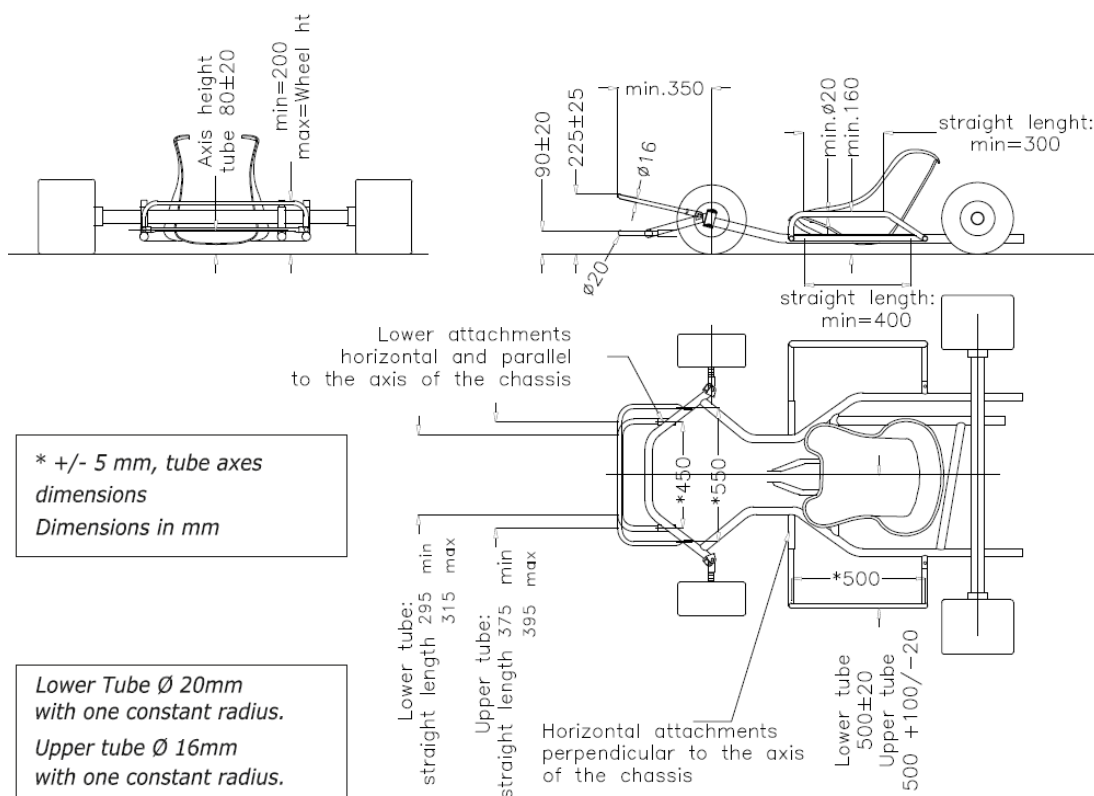


Figura 2. Technical Drawing No. 2a

2.2.3.3. Safata

Un element imprescindible per a la seguretat del pilot és la safata per a la part davantera del kart per evitar que el pilot toqui a terra mentre el kart està a la pista. Al tractar-se d'un element de seguretat, aquest ha de complir l'article 2.6.

ARTICLE 2.6

Safata

*Hi ha d'haver una safata feta d'un material rígid que s'estén des de la part central del bastidor fins la part davantera del bastidor.
[...]*

2.2.3.4. Carrosseria

La carrosseria és un element aerodinàmic i alhora de seguretat amb la qual cosa requereix d'homologacions estrictes. Com en el cas dels para-xocs, s'utilitzaran elements comercials que ja hagin passat les homologacions pertinents, amb la qual cosa només cal saber la normativa bàsica que es troba dintre de l'article 2.7.

ARTICLE 2.7

Carrosseria

Ha de estar compost per dos carrosseries laterals, una frontal i una altra posterior, un panel frontal i una possible protecció de les rodes posteriors.

[...]

Cal tenir en compte el material reglamentari a l'hora de buscar els components. Aquests materials es defineixen en l'article 2.7.1:

ARTICLE 2.7.1

Material

No metàl·lic; fibra de carboni, Kevlar i fibra de vidre estan prohibits. Si s'utilitza plàstic, no ha de ser possible trencar-la i no ha de tenir angles aguts com a resultat d'una possible ruptura.

Per a les dimensions límit permeses, cal consultar el *Technical Drawing No. 2b*:

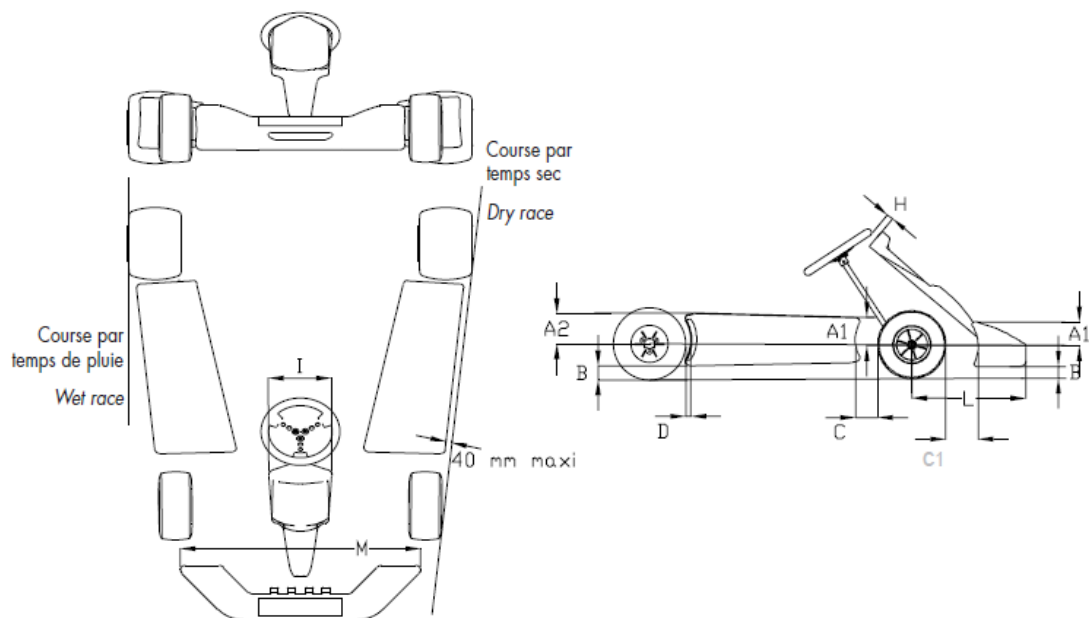


Figura 3. Technical Drawing No.2b I

| CODE | Cotes en mm / Dimensions in mm | Limite/Limit | Commentaires/Comments |
|------|--|--------------------|--|
| A1 | Inférieur au rayon de la roue avant Less than the front wheel radius | | Avant / Front |
| A2 | Inférieur au rayon de la roue arrière Less than the front wheel radius | | Arrière / Rear |
| B | 25 60 | Minimum Maximum | Pilote à bord / Driver on board Pilote à bord / Driver on board |
| C | 150 | Maximum | |
| C1 | 180 | Maximum | |
| D | 60 | Maximum | |
| H | 50 | Minimum | |
| I | 250 300 | Minimum Maximum | |
| L | 680 | Maximum | |
| M | 1000 Largeur extérieure du train avant External width of the front track | Minimum Maximum | |

Figura 4. Technical Drawing No.2b II

2.2.4. Requeriments per a la mecànica

De la mateixa forma que en l'apartat anterior, en aquest s'inclou els requeriments que afectin a la part mecànica del kart: la transmissió, la suspensió, els frens, la direcció, el seient i els pedals.

2.2.4.1. Transmissió

El sistema de transmissió ha de complir una sèrie de normatives per a poder realitzar la cursa. La primera regulació és sobre el tipus de transmissió que es pot utilitzar. Aquesta regulació es troba en l'article 2.8.1:

ARTICLE 2.8.1

Tipus de transmissió

Estarà sempre a les rodes del darrere i cadascuna d'elles podrà ser propulsat individualment. Si s'utilitza un eix posterior dividit (eix), s'ha de preveure un dispositiu mecànic d'acoblament per obtenir d'una connexió mecànica rígida de tots dos eixos [...].

Qualsevol dispositiu de lubricació de cadenes està prohibit, [...].

En condicions de cursa, els karts elèctrics han de poder arrencar en un pendent ascendent amb un pendent del 18%.

En l'article 2.8.3 es parla de la prohibició dels diferencials per a la transmissió de la potència:

ARTICLE 2.8.3***Diferencial***

Qualsevol tipus de diferencial mecànic, ja sigui a través de l'eix, el cub de muntatge de la roda o per qualsevol altre mitjà mecànic, és prohibida

2.2.4.2. Suspensió

La CIK-FIA diu que tot sistema de suspensió queda estrictament prohibit, tal i com es pot veure en l'Article 2.10:

ARTICLE 2.10***Suspension***

Tots els dispositius de suspensió, ja siguin elàstics o amb frontisses, estan prohibides.

Els dispositius de suspensió hidràulics, pneumàtics o mecànics estan prohibits en tots el karts.

Per tant, aquest sistema no es tindrà en compte en la construcció del kart.

2.2.4.3. Frens

Els frens són un dels elements de seguretat més importants del kart. Per aquesta raó cal tenir molt en compte la reglamentació que es presenta en l'article 2.11:

ARTICLE 2.11***Frens***

Els frens han d'estar homologats per CIK-FIA.

Els frens han de ser hidràulics. El comandament de frenada ha de ser doble.

Han de treballar en les quatre rodes i han de tenir han de funcionar de forma independent de davant i de darrera. Si un dels sistemes falla, l'altre ha de garantir la frenada de les dues rodes davanteres o posteriors.

Es prohibeixen els dispositius de frenada accionats per cable i l'ús d'una llum de fre és recomanat.

Els discos de fre de carboni estan prohibits.

Els discos de fre han de ser obligatòriament d'acer, acer inoxidable o ferro fos.

[...]

Els conductes dels frens han d'estar protegits contra tot risc de danys quan s'instal·lin fora del kart. Si es manté la ferrament de sèrie, no es requereix cap protecció addicional necessari.

[...]

Una pastilla de protectora efectiva (en Tefló, Nylon, Delrin, fibra de carboni, Kevlar o Rilsan) és obligatori en totes les categories si el disc de fre sobresurt per sota o està a nivell amb els tubs del bastidor més propers a terra. Aquesta

protecció ha de ser col·locada lateralment en relació amb el disc en l'eix longitudinal del xassís o sota el disc.

2.2.4.4. Direcció

Per al sistema de direcció del kart, la CIK-FIA determina en l'Article 2.12 una sèrie de requeriments que s'han de complir:

ARTICLE 2.12

Direcció

Ha de ser controlat per un volant amb llanta continua que no incorpori cap angle de reflex en la seva forma bàsica. El terç superior o inferior de la circumferència pot ser recte o d'un radi diferent a la resta de la roda.

[...]

Qualsevol dispositiu muntat al volant no ha de sobresortir més de 20 mm del plànol anterior del volant i no ha de tenir vores afilades (mireu el Dibuix Tècnic nº E8).

[...]

La columna de direcció hauria de tenir un diàmetre mínim de 18 mm i un gruix mínim de paret de 1,8 mm.

S'ha de muntar amb un sistema de clip de seguretat per la rosca de retenció del rodament inferior.

Per a totes les categories, la columna de direcció ha de ser d'acer magnètic.

En aquest article també es determina que: “qualsevol control de direcció per cable o cadena queden prohibits”.

2.2.4.5. Seient

El seient és un element de seguretat del kart, per això la CIK-FIA estipula en el reglament tècnic que:

ARTICLE 2.13

Seient

El seient del conductor ha d'estar dissenyat de manera que impedeixi que el conductor es desplaci cap als costats o cap endavant en prendre un revolt o frenar.

Les plaques de reforç del suport del seient són obligatòries per a la part superior del seient. L'armadura ha de tenir un gruix mínim de 1,5 mm, una superfície mínima de 13 cm² o un diàmetre mínim de 40 mm.

Les plaques de reforç són obligatòries per a la fixació del balast. L'armadura ha de tenir un gruix de 1,0 mm i un diàmetre de 20 mm.

Tots els suports han d'estar cargolats o soldats a cada extrem i, si no s'utilitzen, han de retirar de la carcassa i del seient.

2.2.5. Requeriments per a les rodes

Les rodes són els únics elements que es mantenen en contacte amb la pista en tot moment, con condicions normals d'ús. De forma general, en l'article 2.22 es recull la següent informació que afecta al projecte:

ARTICLE 2.22

Rodes: Llantes i Neumàtics

[...]

Només els pneumàtics poden entrar en contacte amb el terra quan el conductor està a bord.

[...]

La fixació de les rodes als eixos ha d'incorporar un sistema de bloqueig de seguretat (com passadors partits o de femelles auto-blocants, volanderes de seguretat, etc.).

La mida, el material i la marca de les llantes i els pneumàtics són gratuïts (excepte titani) i el diàmetre de la llanta pot ser de fins a 6".

[...]

Les rodes en conjunt, tant les llantes com els neumàtics són uns dels elements que es compraran amb les homologacions pertinents ja que fabricar els propis neumàtics o llantes requeriria de molts recursos.

Més explícitament i relacionat amb els neumàtics, per al cas de realitzar competicions d'àmbit estatal (en qualsevol kartòdrom d'Espanya), aquests estan definits segons la categoria de competició en la que s'inscriu el kart. En aquest cas s'ha dissenyat per a la categoria junior, per tant la RFEa especifica l'ús de neumàtics VEGA XH2 per al cas de cursa en sec i VEGA W5 quan la pista està mullada per mitjà d'una circular que es publica al principi de temporada.

2.2.6. Requeriments de la unitat de potència

La unitat de potència està composta, principalment, pel motor elèctric i les bateries. A continuació es mostra els articles del reglament tècnic que afecten a aquests components.

2.2.6.1. Motor elèctric

El motor és l'element principal de la unitat de potència, ja que és el que proporciona el moviment. En l'Article 4.6 s'especifica la reglamentació d'aquest:

ARTICLE 4.6

Motor(s) Elèctric (s) I Generador (s)

El tipus I el nombre de motors elèctrics són gratuïts.

Només es poden utilitzar motors elèctrics, de diversos dissenys. [...]

En l'Article 253.18.6 de l'annex J que presenta la FIA a les reglamentacions tècniques més específiques per a la seguretat a prendre en els dispositius de major risc en el kart, però no es consideraran per al desenvolupament del projecte.

2.2.6.2. Bateries

La bateria és un dels elements que més reglamentació té ja que aquesta condiona la potència que pot utilitzar el motor, tot i no ser l'element principal. En aquest apartat només s'indicaran els articles que s'aplicaran per al desenvolupament del projecte.

La CIK-FIA permet l'ús de dos pacos de bateries, les quals les denomina com a bateria de tracció i bateria auxiliar. En el cas de la primera, no existeix cap límit en el nombre de cel·les, unitats o mòduls de bateries que es poden instal·lar en el kart, però sí es limita en el pes, la composició química i la seva ubicació.

En l'Article 4.4.4 del reglament tècnic es poden trobar les especificacions de les disposicions que ha de tenir la **bateria de tracció** a implementar:

ARTICLE 4.4.4

Disposicions específiques per a les bateries

[...]

El pes màxim de la bateria de tracció depèn del grup de kart elèctric i de la química de la bateria.

[...]

No estan permeses les bateries de les que més del 5% del pes sigui d'or, plata o platí.

Si la tensió nominal de la bateria de tracció és superior a 48 volts, totes les parts conductores d'electricitat pertanyents al circuit de potència han de tenir l'aïllament adequat per complir els requisits de seguretat.

[...]

En l'article relacionat amb el pes màxim que poden tenir les bateries (esmentat en l'apartat 2.2.2), es defineix dos grups de karts segons les **composicions químiques** d'aquestes amb els que es restringiran els pesos màxims i mínims del vehicle. El pes màxim permès per a cada grup i tipus de bateria es troba en la taula 1 i 2 de l'annex del reglament tècnic. També, aquesta taula es pot consultar en l'annex del projecte (Annex ...).

Les composicions químiques de les bateries es classifiquen en els següents grups:

GRUP 1

- Plom-Àcid (Pb-Acid)
- Níquel-Ferro (Ni-Fe)

GRUP 2

- Níquel-Zinc (Ni-Zn)
- Níquel Metall d'Hidrur (NiMH)
- Liti-Ió (Li-Ion)
- Polímer de Metall de Liti (LiPo)

Segons la composició química implementada en les bateries, requereix de reglamentació addicional. En el punt 18.4.4.1 de l'Annex J – Article 253, la CIK-FIA especifica que:

APPENDIX J - ARTICLE 253-18.4.4.1***Declaració de la química cel·lular***

[...]

c. En el cas de les bateries de plom-àcid, només es permeten els tipus regulats per vàlvules (tipus de gel).

d. Les bateries de liti han d'estar equipades amb un sistema de gestió de bateries. Les disposicions específiques s'estableixen a l'Article 18.4.4.2.

[...]

A més de les reglamentacions esmentades, també es limita la **ubicació** de les bateries en el kart a partir d'unes àrees seleccionades per la CIK-FIA que es poden veure en *Technical Drawing No. E1* i que es presenta en l'annex del projecte. En l'Article 4.4.4.2 es descriuen els límits d'aquestes àrees permeses.

ARTICLE 4.4.4.2***Sistema de gestió de bateries (BMS)***

[...]

La ubicació de cada àrea respecte al bastidor del kart està definida per una galleda circumdant amb les dimensions màximes definides en la següent secció:

- El límit frontal de les àrees de bateria permeses és idèntic al límit frontal dels travessers CIK-FIA.

- El límit posterior de les àrees de bateria permeses és l'eix posterior.

- El límit exterior de les àrees de bateria permeses és el pla interior de la barra lateral de la caixa.

- El límit interior de les àrees de bateria permeses està limitat a una distància mínima de 45 cm entre les dues àrees de bateria.

- El límit inferior de les àrees de bateria permeses és el bastidor principal del kart.

- El límit superior de les àrees permeses de la bateria ve donat pel pla tangent a la part inferior del volant i paral·lel al terra.

[...]

Adicionalment, es permet un **sistema d'emmagatzematge d'energia recarregable** (RESS) per a l'energia que es regenera en les frenades. La reglamentació d'aquest sistema ve recollit en l'Article 4.4:

ARTICLE 4.4***Sistema d'Emmagatzematge d'Energia Recarregable (RESS)***

Es permet recuperar l'energia generada per l'energia cinètica del vehicle. A excepció de la bateria de tracció, no està permès tenir energia emmagatzemada en aquests dispositius abans de l'inici de l'esdeveniment.

[...]

La màxima potència total que surt de la RESS és gratuïta. Això serà monitoritzat permanentment per la FIA.

El voltatge màxim està limitat a 200V.

[...]

2.3. Estudi de la competència

En aquest apartat es realitza un estudi dels diferents karts elèctrics construïts per a la competició per tal de tenir una idea dels valors que es poden arribar a obtenir. Aquest estudi és important pel fet de ser un camp recent dintre de l'automobilisme, tant en competició com de caràcter general.

En la següent taula es recull totes les dades necessàries dels diferents karts elèctrics per a la competició que ajudaran a dissenyar els components del projecte.

| | | MOTOR | | | |
|------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|
| Fabricant | Model | Potència Nominal [kW] | Parell Nominal [Nm] | Velocitat màxima [km/h] | Temps acceleració [s] |
| Bosch + FIA | Prototip | 20 | 300 | 130 | 5 |
| KREISEL Electric | Prototip | 58 | | 100 | 3,1 |
| Blue Shock Race | BSR19 SPORTS | 25 | 50 | 135 | 3,3 |
| Play&Drive | Prototip Kart E-14 | 13 | 40 | 150 | 6,2 |
| DEKM | High Performance Racing eKart | 20 | 45 | 130 | 3,5 |

Taula 6. Estudi de la competència I

| BATERIA | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------|------------|----------|--------------|
| Fabricant | Típus | Capacitat | Autonomia | Pes [kg] | Preu [€] |
| Bosch + FIA | Li-Ion | | | | |
| KREISEL Electric | | 13 kWh | | | |
| Blue Shock Race | | 52 Ah | 18 - 20 km | | 107.600,00 € |
| Play&Drive | LiPo High Power | 3,8 kWh | | 109 | |
| DEKM | | 2,5 kWh | | 150 | |

Taula 7. Estudi de la competència II

CAPÍTOL 3

ESTUDI DELS COMPONENTS

3.1. Xassís

Segons la definició que dona la CIK-FIA en l'article 1.2.2 del seu reglament tècnic del 2019:

El xassís és l'estructura global del kart on s'acoblin els components mecànics i la carrosseria, inclòs qualsevol part que sigui independent de dita estructura.

3.1.1. Composició

El xassís està compost pel bastidor, les parts principals i les parts auxiliars.

3.1.1.1. Bastidor

El bastidor del xassís és la part central i principal de l'estructura i on es recolzen tots els components que componen el kart. Aquest ha de ser el suficientment resistent per absorbir les càrregues que es produeixen quan el kart està en moviment.

La seva funció consisteix en ser l'element de suport principal del vehicle i servir com a connexió rígida de les parts principals corresponents al xassís i per a la incorporació de les parts auxiliars. També dona la solidesa necessària al kart per a les possibles forces que poden ocórrer quan està en moviment i/o xocs que pugui patir. Cal tenir en compte que als ser un vehicle sense suspensions, és indispensable que aquest sigui també flexible.

3.1.1.2. Parts principals

Les parts principals del xassís són totes aquelles que transmeten les reaccions que provoquen la pista cap al bastidor només a través de les rodes. Aquest elements són: les llantes amb suport, l'eix posterior, el node i el pivot de direcció, els suports dels eixos davanters i posterior i, en cas que existís, les peces de connexió davanteres i del darrere.

3.1.1.3. Parts auxiliars

Són tots aquells elements que contribueixen a un correcte funcionament del kart, com també tots els punt de muntatge per als frens, la direcció, el seient, els pedals, els para-xocs, el motor i les bateries. Aquest elements no han de transmetre cap força de la pista cap al bastidor.

Les peces que es consideren parts auxiliars són:

- Contrapesos
- Tots els dispositius i connexions
- Totes les plaques i molles
- Altres punts de fixació no considerats abans
- Tubs i seccions per refermar l'estructura

3.1.2. Elecció de la fabricació

L'elecció de la fabricació del xassís condicionarà el mètode de treball d'aquest. Per tant, és important decidir com es fabricarà encara que no es vagi a portar a terme físicament.

En aquest cas, s'han tingut en compte dos opcions viables:

- **OPCIÓ 1:** Comprar l'estructura base del xassís i adaptar-la segons les noves necessitats.
- **OPCIÓ 2:** Dissenyar l'estructura completa i fabricar-la des de zero.

A continuació es mostra una taula amb els pros i contres que tenen cada opció:

| | Opció 1 | Opció 2 |
|----------------------|---|---|
| Avantatges | <ul style="list-style-type: none"> - Solució més barata. - Ja té l'homologació. - Reducció del temps de treball. | <ul style="list-style-type: none"> - Es pot crear un disseny nou adaptat als requeriments del kart. |
| Inconvenients | <ul style="list-style-type: none"> - Cal buscar un xassís homologat amb totes les mesures. | <ul style="list-style-type: none"> - Solució més cara. - Cal trobar tallers que treballin amb barres d'acer per tallar-les i soldar-les. - Major temps invertit. |

Taula 8. Fabricació del xassís: avantatges i inconvenients

Finalment, s'ha optat per la **opció 2** però basant-se en les dimensions bàsiques i en la forma d'un bastidor que ja tingui la homologació de la FIA. Amb aquesta opció es pot desenvolupar millor la capacitat de disseny d'un component, que és un dels objectius del projecte. En canvi, amb l'altra opció, tot i proporcionar més avantatges, no donaria massa marge de re-disseny per adaptar-lo a la nova unitat de potència.

3.2. Motor elèctric

En l'Article 251, l'apartat 3.1.22, que es presenta en l'Annex J de la FIA per als reglaments tècnics es defineix el motor elèctric com:

El motor elèctric és una màquina rotativa que transforma la energia elèctrica en energia mecànica.

3.2.1. Tipus de motors per als vehicles elèctrics

Existeixen una gran varietat de motors elèctrics, els quals es poden dividir en dos grans grups: els de corrent continua i els de corrent alterna.

Els motors de **corrent directe** (DC) es caracteritzen per necessitar corrent continua i poder augmentar la seva velocitat de gir segons la tensió aplicada. Aquests proporcionen un parell motor proporcional al corrent de l'inductor i al seu flux del camp magnètic. A més, els motors DC tenen un alt parell d'arrancada i poden variar la seva velocitat de gir, la qual cosa els fa ideals per utilitzar en treballs pesats. Es consideren un motors cars pel seu alt cost de fabricació.

Aquests tipus de motors són els ideals per a les aplicacions en les que s'alimenten de bateries, com seria el cas del projecte.

Els motors de **corrent altern** (AC) són coneguts per treballar a partir de corrent alterna i solen ser trifàsics o monofàsics. Treballen a velocitats fixes i no poden operar a velocitats baixes, però en cas de voler variar la seva velocitat de gir es necessari un variador electrònic de freqüència. A més, tenen un parell d'arrencada baix i el seu parell motor depèn del camp giratori.

Aquests tipus de motors són utilitzats per a treballs que es requereix de precisió en el moviment i són bastant econòmics de fabricar.

Entre tota la varietat de motors segons el tipus de corrent que utilitzi, hi han uns que són els més adients per a utilitzar com a motors de tracció de vehicles. Aquests són:

- Motor asíncron o d'inducció (AC)
- Motor síncron d'imants permanents (AC)
- Motor síncron de reluctància commutada (AC)
- Motor brushless d'imants permanents (DC)

Es pot veure que els motors elèctrics es poden classificar en tres grans grups: els motors asíncrons, els motors síncrons i els motors brushless.

3.2.1.1. Motors asíncrons

Aquests tipus de motors utilitzen corrent alterna que pot ser monofàsica o trifàsica i la seva velocitat de gir és diferents a la del camp magnètic. Es

consideren de velocitat constant ja que si el parell motor augmenta, la intensitat de corrent consumida també, però sense variar gaire la velocitat.

Existeixen dos tipus de motors segons el rotor: de gàbia d'esquirol o de bobinat. Els motors de gàbia d'esquirol té un sistema físic molt eficaç, simple i robust que no requereix de manteniment. Per altra banda, els motors de rotor bobinat són més complicats de fabricar i de mantenir, però tenen la avantatge de poder utilitzar un reostator d'arrancada que permet modificar la velocitat i el parell d'arrancada, així com reduir el corrent d'arrancada.

Els motors asíncrons són els més utilitzats com a motor de tracció en els vehicles elèctrics.

A més de les característiques que es poden observar en la taula 4 de l'apartat 3.2.1., els motors asíncrons produeixen un baix nivell de soroll i vibracions quan funcionen, treballa a un parell constant, tenen un baix parell en l'arrancada i existeixen riscos de sobrecàrrega.

3.2.1.2. Motors síncrons

Els motors síncrons són aquells que la rotació del seu eix es troben sincronitzats amb la freqüència de la corrent d'alimentació. Aquesta corrent és del tipus alterna i, com que la velocitat de rotació només depèn de la freqüència, es considera que té una velocitat fixe.

Per poder arrencar aquests tipus de motors, és necessari elements auxiliars ja que no disposa de parell d'arrancada propi.

Existeixen diferents tipus de motors síncrons: els no excitats i els excitats en corrent continu. Els motors no excitats divideixen en tres sub-tipus: de reluctància, d'histèresis i d'imants permanents. Els més utilitzats en els vehicles elèctrics són els d'**imants permanents** i els de **reluctància commutada**.

El **motor síncron de reluctància commutada** és el parell el que manté el rotor en moviment, la qual cosa no necessita imants permanents ni escombretes. Per tant, el manteniment és pràcticament nul. Aquests tenen la avantatge de tenir una elevada robustesa, però, en canvi, tenen un disseny complex.

Els motors que han desenvolupat Renault per als seus vehicles elèctrics d'aquest tipus són un model de motor síncron més eficient que els d'imants permanents.

El **motor síncron d'imants permanents** utilitza imants permanents incrustats en el rotor per poder crear un camp magnètic constant. Aquests són similars als brushless de corrent continua.

Existeixen dos tipus segons la direcció sobre la que gira el flux de camp magnètic: axial (es solen aplicar directament en les rodes dels vehicles elèctrics per tal de reduir elements mecànics i espai) o radial (són els més utilitzats).

Aquests tipus de motor són els més utilitzats en els vehicles elèctrics i híbrids, juntament amb el motor asíncron. Tenen la avantatge que no calen l'ús de reductors ja que la seva velocitat de gir es pot controlar electrònicament mitjançant un encoder.

3.2.1.3. Motors brushless

Els brushless són un tipus de motor síncron d'imants permanents alimentat per corrent continua que es controla mitjançant un controlador electrònic. Amb aquest es pot controlar la velocitat de gir i el parell del motor a partir del corrent.

La seva construcció és similar als motors síncrons d'imants permanents, però també a la d'un motor de reluctància commutada o un motor asíncron. Segons les variacions que s'efectuïn, el motor es pot considerar "inrunner" (on hi ha una major velocitat de gir a un menor parell) o "outrunner" (amb una menor velocitat de gir a un major parell).

Aquests són els més utilitzats en els vehicles híbrids, tot i que Honda els està aplicant tant en els prototips com en els nous models de vehicles elèctrics.

Com a complement de les característiques que s'esmenten en la taula 4 de l'apartat 3.2.1., els motors brushless d'imants permanents tenen una millor relació velocitat-parell motor i potència-pes que la resta de motors d'imants permanents, tenen una millor resposta dinàmica, efectuen menys soroll i poden operar en major rangs de velocitats. Per contra, requereixen d'un control bastant complex.

3.2.1. Elecció del motor

Per tal de poder escollir de forma eficient quin és el millor motor per a la nostra aplicació, s'ha realitzat una taula comparativa segons els requisits que han de complir. Aquests requisits són:

- Nivell mig-baix de potència
- Nivell mig-alt de parell motor
- Nombre elevat de revolucions. Un mínim de 3000 rpm.
- Alt rendiment o eficiència
- Alt nivell de fiabilitat, és a dir, una elevada vida útil.
- Baix manteniment
- Mínim cost possible

En la següent taula es fa la comparació de les característiques entre les diferents opcions de motors elèctrics.

| | Asíncron | Síncron imants permanents | Síncron reluctància commutada | Brushless imants permanents |
|-------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Potència [kW] | Alt 0,06 a 315 | Alt 0,14 a 500 | Baix 0,075 a 18.5 | Baix 0,065 a 17,32 |
| Parell motor [Nm] | Constant 0,38 a 730 | Alt 0,85 a 2 260 | Elevat 2,4 a 71 700 | Baix 0,04 a 46 |
| Revolucions [rpm] | Baix 650 a 2 980 | Mig 1 500 a 6 000 | Mig 1 000 a 4 500 | Alt 1 000 a 15 000 |
| Eficiència | Mig 28% a 95% | Alta 93% a 96,9% | Baixa 77,1% a 92,9% | Mig 85% a 93% |
| Fiabilitat | Bona | Alta | Bona | Alta |
| Manteniment | Baix | Baix | Nul | Nul |
| Cost | Alt | Alt | Baix | Baix |

Taula 9. Taula comparativa de motors elèctrics

A partir dels valors comparats en la taula, es decideix que el millor motor que s'adapta a les especificacions que es volen assolir és el **motor síncron d'imants permanents** ja que aquest proporciona una major varietat de potències i parells motor. També es vol treballar a una velocitat de gir de **5000 rpm**, i aquest tipus pot proporcionar aquesta velocitat.

Un altre factor que ha sigut decisiu és el baix manteniment enfront a la alta fiabilitat que proporciona, ja que la idea principal és assolir una temporada completa de competició (6 curses de mitja) amb un sol motor treballant al seu màxim rendiment.

3.3. Bateria

Tal i com s'ha vist en l'apartat del reglament tècnic, la CIK-FIA només permet dos tipus de bateries segons el seu ús: la bateria de tracció i la bateria auxiliar. Per aquest projecte només es tindrà en compte la **bateria de tracció** ja que és la que condiciona el rendiment del vehicle tant en l'autonomia del vehicle com en la potència que genera el motor elèctric.

La bateria de tracció és la que subministra l'energia al motor elèctric i tots els controladors electrònics per tal de fer moure el kart. La CIK-FIA la defineix com:

És un sistema d'emmagatzemat d'energia recarregable (RESS) i subministra energia elèctrica al circuit de potència i, per tant, al motor de tracció.

La bateria de tracció es defineix com qualsevol equip utilitzat per l'emmagatzemat d'energia elèctrica subministrada per la conversió de l'energia cinètica, per un generador o per la unitat de càrrega.

Les bateries de tracció en els vehicles elèctrics sempre han d'anar acompanyades d'un sistema de gestió de bateries (BMS) per controlar en tot moment el corrent que impulsa als components i controlar la temperatura de la bateria.

Aquest sistema es defineix per la CIK-FIA com:

El Sistema de Gestió de Bateria (BMS) és part del RESS i un important sistema de seguretat. Compromet el monitoreig i, opcionalment, un circuit de balanceig de càrrega per mantenir totes les cel·les en qualsevol moment i sota qualsevol condició de càrrega o descàrrega dintre del rang de voltatge especificat pel fabricant de la bateria.

3.3.1. Composicions químiques

Les bateries de tracció per als vehicles elèctrics es caracteritzen per ser recarregables i amb la capacitat de ser descarregades regularment en profunditat, el que s'anomena com a *Deep-Cycle*. També requereixen d'una alta capacitat Amper-hora per tal d'ampliar al màxim l'autonomia del vehicle, i màxima densitat energètica i energia específica. A més, han de tenir la capacitat de subministrar altes potències ja que han d'alimentar a tots els components que conformen els vehicles, incloent el motor elèctric.

Per aquest tipus d'aplicació es recomana les següents composicions químiques:

- Plom-Àcid (Pb-Acid)
- Níquel-Cadmi (NiCd)
- Níquel Metall Hidrur (NiMH)
- Liti-Ió (Li-Ion)
- Polímer de Liti-Ió (LiPo)

En aquest apartat només s'estudiaran les composicions permeses per la CIK-FIA. Per tant, es compararan les característiques de les bateries de **plom-àcid del tipus VRLA** (Plom-Àcid regulades per vàlvules), **níquel metall-hidrur**, **liti-ió** i **polímer de liti-ió**.

3.3.1.1. Bateria de Plom-Àcid tipus VRLA

Les bateries de Plom-Àcid regulades per vàlvules (VRLA) són un tipus de bateries de Plom-Àcid que es troben segellades i requereixen de menor manteniment. D'aquestes existeixen dos tipus principals: les AGM (Estora de Vidre Absorbent) i les que tenen cel·les de **gel**. Aquestes últimes són les úniques permeses per la CIK-FIA amb composició de Pb-Acid.

Les bateries **VRLA de Gel** es caracteritzen per ser les més segures de la seva família ja que aquestes estan completament segellades i són resistents als impactes i les vibracions. També tenen una vida útil més àmplia (7 anys de promig) i tenen una millor recuperació de les descàrregues profundes, és a dir, són del tipus Deep-Cycle.

Es poden trobar en el mercat amb voltatges nominals de 2V, 4V, 6V, 8V i 12V amb una alta capacitat Ampere-hora, tot i que les de 12V són les més comunes.

Les aplicacions més comuns són per a l'arrancada, l'enllumenat i la ignició en els cotxes, però també es troben com a bateries de tracció en els carrets de golf i, amb menys freqüència, en vehicles elèctrics.

3.3.1.2. Bateria de Níquel Metall-Hidrur

Les bateries de **NiMH** són un tipus de bateries recarregables recomanables per a aplicacions amb un alt corrent de drenatge. Aquestes es caracteritzen per tenir una densitat energètica similar a les bateries de liti i poder aguantar forts cicles de descàrrega profunda (80% al 100% de DOD). Es poden carregar ràpidament (aproximadament en 1 hora) i no requereixen d'un sistema de monitoreig o BMS, a diferència de les bateries de liti. El seu preu és més car que les bateries de VRLA però més barates que les de liti. A més, es consideren bones per al medi ambient.

Per un altre costat, presenten grans desavantatges com és la seva baixa eficiència, alt nivell d'auto-descàrrega i la susceptibilitat al efecte memòria. A més, requereixen d'un temporitzador quan es carreguen per evitar un sobre-carregament de la mateixa, ja que això pot afectar a la vida útil de la bateria. Addicionalment, només són capaces de subministrar la màxima potència (full power) fins arribar al 50% de DOD.

Aquest tipus de bateries es poden trobar en els primers vehicles elèctrics que van fabricar grans marques de cotxes com General Motors, Toyota, Honda i Ford, però actualment és molt més comú trobar-les en els vehicles híbrids.

3.3.1.3. Bateria de Liti

Les bateries de Liti, en general, són un tipus de bateries recarregables amb una alta densitat de càrrega i cares. Aquestes tenen un voltatge nominal de 3,7 V.

Existeixen diferents tipus de composicions químiques, les dos més utilitzades com a bateries de tracció en vehicles elèctrics són les bateries de **Liti-ló** i les bateries de **Polímer de Liti-ló**.

3.3.1.3.1. Bateria de Liti-ló

Aquest tipus de bateries de liti són molt comunes en les aplicacions electròniques portàtils, com portàtils i mòbils, i en vehicles elèctrics. Es caracteritzen per tenir una alta densitat energètica, alta eficiència de càrrega i descàrrega, no tenir efecte memòria i tenir un nivell baix d'auto-descàrrega. Tot i ser una mica tòxiques i inflamables, es poden reciclar per reduir la penjada ecològica.

Les bateries de Liti-ló tenen un rang de temperatura de treball molt estricte (de 5°C fins als 45°C). No poden treballar a altes temperatures a causa del perill d'incendi i la baixada important de rendiment. Es per això que requereixen d'un sistema de refrigeració i un BMS constant.

3.3.1.3.2. Bateria de Polímer de Liti-ló

Les bateries de LiPo són molt semblants en característiques a les bateries de Li-Ion, però es diferencien principalment en que aquestes utilitzen gel sòlid, com polímers, que substitueixen als electròlits, mentre que les bateries de Li-Ion utilitzen electròlits líquids. Una altra diferència és que les bateries de LiPo són relativament més cares degut a una menor densitat energètica, però són més segures i lleugeres. A més, aquestes són recarregables i tenen una vida útil més llarga una vegada carregades.

Adicionalment, les bateries de LiPo es troben de forma prismàtiques i es poden deformar ja que tenen una major resistència a la deformació. En canvi, les bateries de Li-Ion es solen vendre de forma cilíndrica.

3.3.2. Elecció del tipus de bateries

Per escollir el tipus de bateria que més s'adhereix als requeriments del kart, es tindrà en compte:

- ALTA capacitat Ampere-hora
- ALTA energia específica o densitat energètica
- MÀXIM valor de temperatura de descàrrega amb el que es pugui operar
- MÍNIM pes
- BAIXA relació pes-volum
- BAIX preu

A partir de les característiques explicades en l'apartat anterior i una recerca més exhaustiva de cada tipus de bateria que es pot trobar en el mercat, s'ha obtingut els següents valors:

| | Pb-Acid | NiMH | Li-Ion | LiPo |
|--------------------------------|---------|--------|--------|-------------------|
| NOMINAL VOLTAGE [V] | 2 | 1,2 | 3,65 | 3,7 |
| NOMINAL CAPACITY AT 10C [Ah] | 213 | 15 | 5,3 | 10 |
| Discharge Current [A] | 21,3 | 1,5 | 0,53 | 1 |
| MAX. WEIGHT PERMITTED [kg] | 90 | 75 | 23 | 24 |
| WEIGHT [kg/cell] | 14,5 | 0,235 | 0,093 | 0,21 |
| Specific Energy [Wh/kg] | 29,4 | 76,6 | 208,0 | 176,2 |
| MAX. DISCHARGE TEMP. [°C] | 49 | 50 | 70 | 60 |
| VOLUME [mm ³ /cell] | 6506794 | 9382 | 45959 | 102480 |
| Volume-Weight Rate | 448744 | 39925 | 494188 | 488000 |
| PRICE [€/cell] | LOW | MEDIUM | HIGH | HIGH (≈38 €/cell) |

Taula 10. Taula comparativa dels tipus de bateries per a VE

De forma més gràfica, es pot observar les característiques que ha de complir la bateria per a cada tipus.

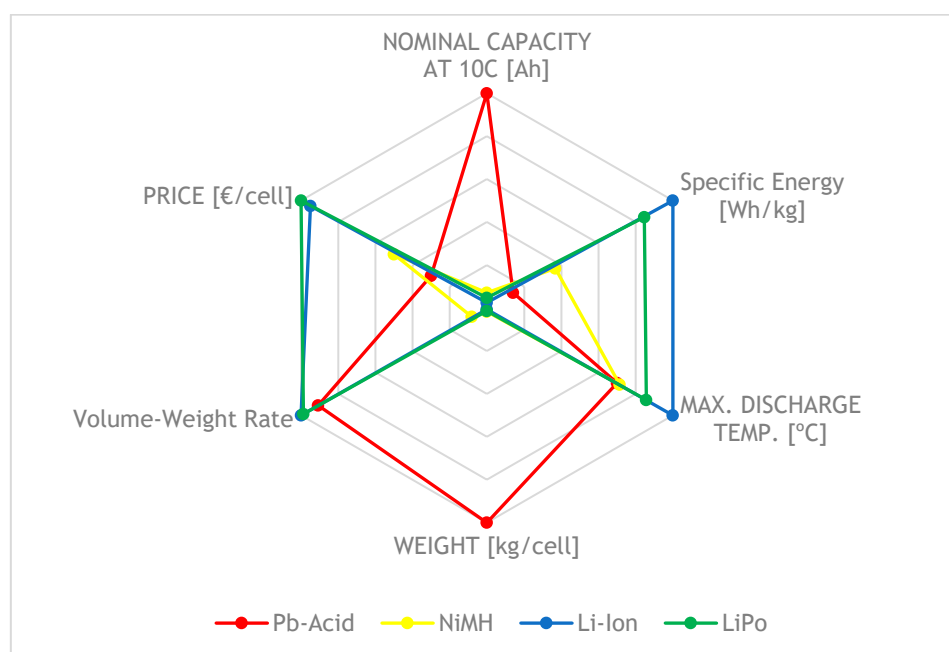


Figura 5. Gràfic comparatiu del tipus de bateries

Es pot observar en el gràfic que les bateries els dos tipus de bateries de liti tenen característiques molt semblants. En canvi, les bateries de plom-àcid són les que més diferents es comporten.

A partir dels objectius marcats sobre les característiques que hauria de complir la bateria seleccionada i els resultats obtinguts en el gràfic de la figura, és pot veure que el tipus de bateria que més s'ajusta a les necessitat del kart és la del tipus Li-Ion. No obstant, el tipus de geometria (forma cilíndrica i petita, semblant a una pila) amb la qual es troba en el mercat fa que resulti difícil un disseny lliure. És per això que s'ha decidit per una cel·la de bateria del tipus **Polímer de Li-Ion** o LiPo.

Com totes dues ofereixen característiques semblants en relació a les capacitats, s'ha decantant per aquest tipus per la geometria i la major seguretat que proporciona aquesta.

CAPÍTOL 4

DISSENY DEL KART

Una vegada escollits els tipus d'elements principals dels quals es compondrà el kart, es prosseguirà amb els càlculs necessaris, modelització y muntatge d'aquest per donar forma al vehicle.

4.1. Bastidor

En aquest apartat es desenvoluparà l'estructura principal del kart, el bastidor, sobre la qual anirà recolzats tots els components que el conformen.

Aquest ha de ser suficientment resistent per aguantar els xocs que es produeixen amb els altres karts i els impactes que es generin contra les proteccions del circuit. Al mateix temps, també ha de ser flexible per tal d'absorbir el màxim possible de les oscil·lacions i vibracions produïdes per la pista i el pas pels pianos. Això s'aconsegueix mitjançant el disseny del xassís amb barres llargues i amb una bona elecció del material que proporcioni la resistència necessària però alhora tingui bona soldabilitat.

4.1.1. Disseny base

Abans de començar a dibuixar el bastidor, cal realitzar un disseny base en forma de croquis per saber quina estructura tindrà. Aquest disseny base es realitzarà, tal i com s'ha comentat en l'apartat 3.1, a partir d'un disseny d'un altre bastidor que ja hagi passat la homologació de la CIK-FIA.

S'ha decidit agafar com a geometria i mesures bàsiques del xassís del kart presentat per Birel Cry32 amb el número d'homologació 24/CH/17 ja que aquest presenta una geometria molt semblant a la presentada per la CIK-FIA.

En la següent imatge es pot veure un croquis de l'estructura base amb les dimensions del xassís del Birel Cry32.

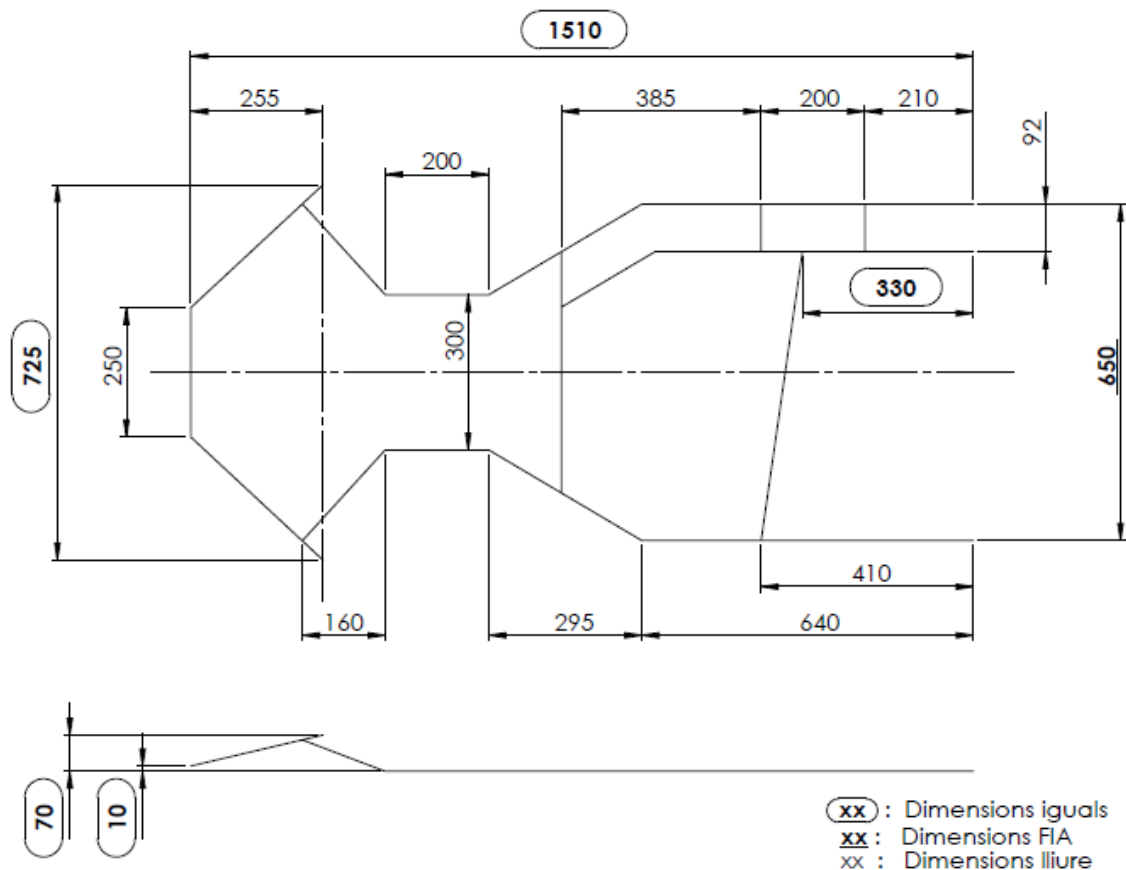


Figura 6. Geometria i dimensions bàsiques del bastidor del Birel Cry32

Les dimensions que es troben en negreta i dintre d'un requadre són mesures que s'han agafat com a referència per tal de poder modelar el bastidor. Aquelles dimensions que es trobin en negreta i subratllades, són mesures establertes per la CIK-FIA. Aquestes s'han agafat el valor mig del rang que limiten.

La resta de dimensions només s'han utilitzat de guia per tal de no sobredimensionar el bastidor.

4.1.2. Material

El material del qual es compondrà els tubs que formen el bastidor, i el xassís sencer, ha de complir els següents requeriments:

- La massa dels aliatges ha de ser menor al 5% (imposat per la FIA)
- Ha de ser un acer estructural magnètic o de baix aliatge (imposat per la FIA)
- Ha de ser **flexible** i **resistent** al mateix temps per tal de poder suportar i absorbir les càrregues produïdes durant la circulació del kart per la pista.
- Ha de tenir bona **soldabilitat**, ja que la unió dels tubs s'ha de fer per soldadura.
- Ha de ser capaç d'aguantar a la fatiga. Aquest requeriment va lligat al tercer punt perquè es produeixen moltes oscil·lacions i torsions mentre el kart està en marxa a causa del pas per els pianos i l'estat de la pista.
- Ha de tenir la menor densitat possible per tal de que el kart sigui més lleuger.

Tenint en compte tots aquests requeriments, el material escollit és **un acer SAE 4130 de baix aliatge** que compleix amb els requisits establerts en el reglament per al material de fabricació del xassís.

Aquest tipus d'acer també es coneix com acer al crom-molibdè ja que són els aliatges de reforç que donen les propietats característiques a la família d'acer 41xx. Aquesta designació d'acer és la més utilitzada per a la fabricació de xassís, com és el cas del Birel Cry32, per la seva alta resistència i baix aliatge de carboni. També presenten una bona soldabilitat, tenen una alta resistència a la tracció i una alta ductilitat.

Més concretament, el SAE 4130 es caracteritza per poder ser soldat mitjançant qualsevol mètode comercial. És el més comú de la seva família i el més utilitzat en l'àmbit de l'automòbil. Té una bona residència al desgast, bona tenacitat i ductilitat.

A continuació es mostren dos taules amb les composicions químiques del aliatges que el componen i les seves propietats mecàniques.

| Element | C | Cr | Mo | Mn | Si | S | P |
|---------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Contingut (%) | 0,30 | 0,95 | 0,20 | 0,50 | 0,25 | 0,040 | 0,035 |

Taula 11. Composició química típica del SAE 4130

| Propietat | Valor | Unitat |
|-----------------------|-------|-------------------|
| Densitat | 7850 | kg/m ³ |
| Mòdul elàstic | 205 | GPa |
| Mòdul de compressió | 160 | GPa |
| Mòdul cisallament | 80 | GPa |
| Coeficient de Poisson | 0,285 | - |
| Límit de tracció | 731 | MPa |
| Límit elàstic | 460 | MPa |
| Conductivitat tèrmica | 42,7 | W/m·K |
| Calor específic | 477 | J/kg·K |
| Duresa Brinell | 197 | HB |

Taula 12. Propietats mecàniques del SAE 4130

4.1.3. Disseny final

El disseny final del bastidor s'ha realitzat a partir del croquis mostrat en la figura 3, amb les dimensions límit establertes per la CIK-FIA en el reglament tècnic.

S'ha tingut en compte que les barres que componen el bastidor siguin el més llargues possibles per aportar una major flexibilitat al xassís. També s'ha considerat l'amplada del seient, ja que haurà d'anar fixe a l'estructura.

A continuació es mostra les dimensions bàsiques del disseny del bastidor. El plànol complet es pot trobar en els annexes.

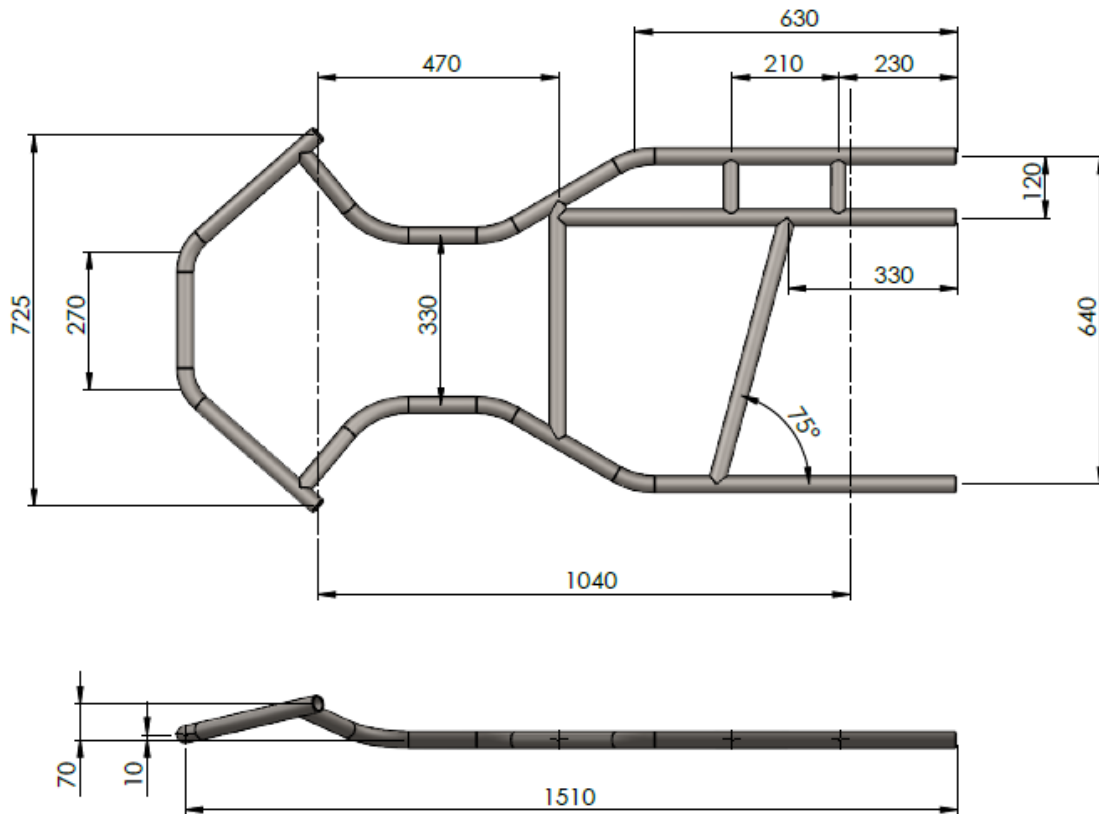


Figura 7. Dimensions base del disseny final del bastidor

Les mesures que es presenten en les imatges poden variar segons les dimensions dels components escollits més endavant. Les dimensions definitives es poden trobar en el plànol corresponent dels annexes. En aquest es mostrarà conjuntament amb elements auxiliars per poder acoblar les barres de seguretat i la safata del terra ("floor tray"), conjuntament amb els elements per incorporar el seient, la barra de direcció i l'eix posterior.

4.2. Carrosseria

La carrosseria té dos funcions importants dintre del kart: una és la de **proporcionar aerodinàmica al vehicle** per tal de minimitzar la resistència a l'aire quan està en marxa, i l'altre és la de **protegir al pilot dels xocs** amb els altres competidors i contra les proteccions del circuit en cas de sortida de pista.

Com que són elements que intervenen directament en la seguretat del pilot, la CIK-FIA només deixa aplicar tots aquells que hagin passat els test d'homologacions. Per aquesta raó s'escolliran elements comercials que tinguin aquestes homologacions en rigor.

La carrosseria es divideix de la següent manera:

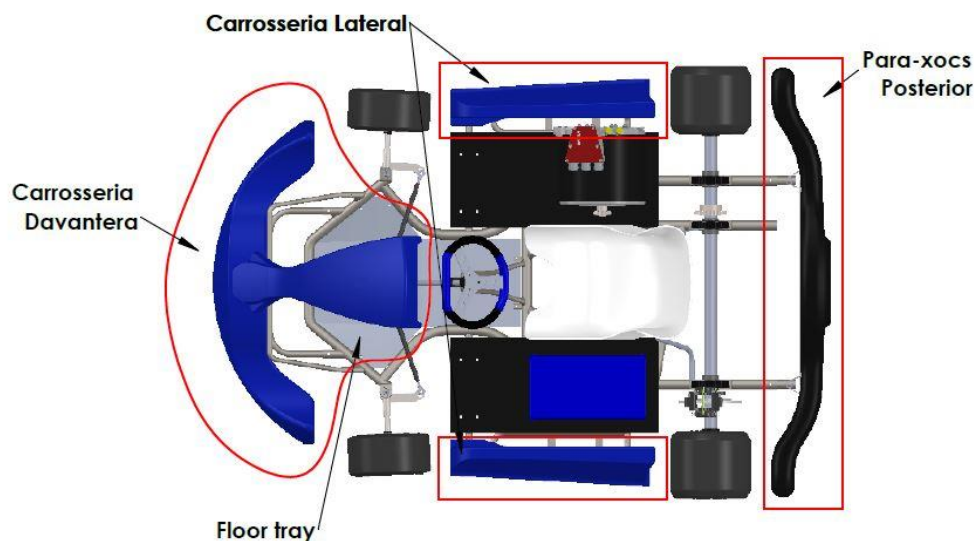


Figura 8. Elements principals de la carrosseria

4.2.1. Carrosseria davantera

La carrosseria davantera consta de les barres de seguretat o para-xocs i del carenat, format pel frontal i el spoiler.

El **frontal** és la part que s'uneix al xassís mitjançant els para-xocs i absorbeix els impactes que es poden causar de forma frontal. En canvi, el **spoiler** s'encarrega de protegir la columna de direcció, donar aerodinàmica al kart i mostrar el dorsal del pilot. Com que tots dos tenen funcions diferents, la CIK-FIA exigeix una homologació per separat.

A continuació es mostra una imatge dels components de la carrosseria frontal:

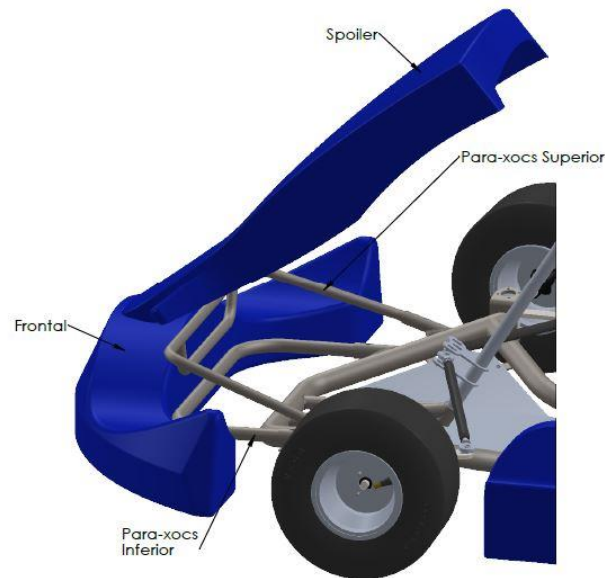


Figura 9. Elements de la carrosseria frontal

El fabricant escollit per a tots els components és *Righetti Ridolfi*, que ofereix tots els elements necessaris en forma de kit.

4.2.1.1. Carenat davanter

El **carenat davanter** escollit és el model XTR14 amb el número d'homologació 19/CA/20. Aquest està compost pel **frontal** i el **para-xocs superior i inferior**.

Les dimensions que proporciona el fabricant són:

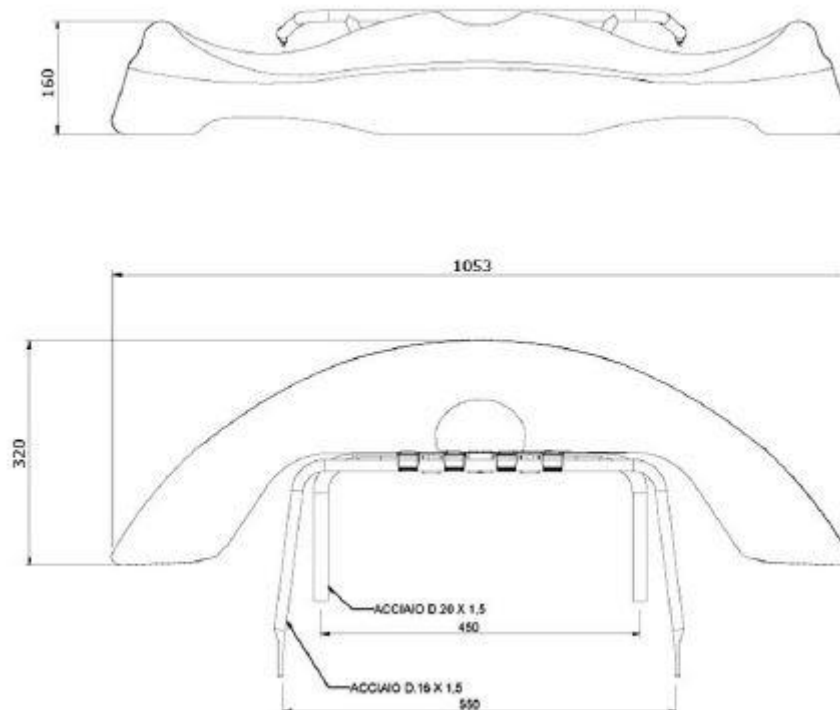


Figura 10. Dimensions del carenat davanter

La unió entre els elements es realitza mitjançant uns clips amb unes dimensions proporcionades per la CIK-FIA. Aquest van cargolats a una base, també cargolada, situada al carenat frontal.

En la següent imatge proporcionada pel fabricant i disponible en la fitxa d'homologació nombrada abans es pot veure els elements d'unió i la seva disposició.

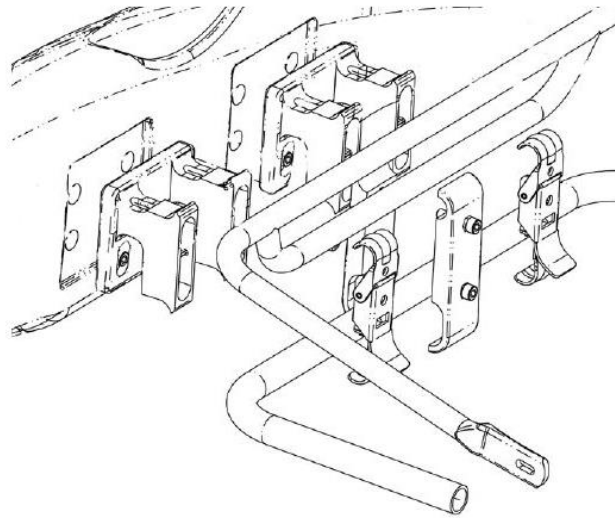


Figura 11. Unió del carenat davanter

Els para-xocs han d'estar fixats al bastidor. El mètode escollit per aquesta fixació és de soldar tubs en la direcció en la que han d'anar ubicats els para-xocs amb el diàmetre interior igual al diàmetre exterior d'aquests. Per collar les barres als tubs s'utilitzaran cargols de mètrica 8.

Aquests suports dissenyats estan ubicats de la següent manera en el bastidor.

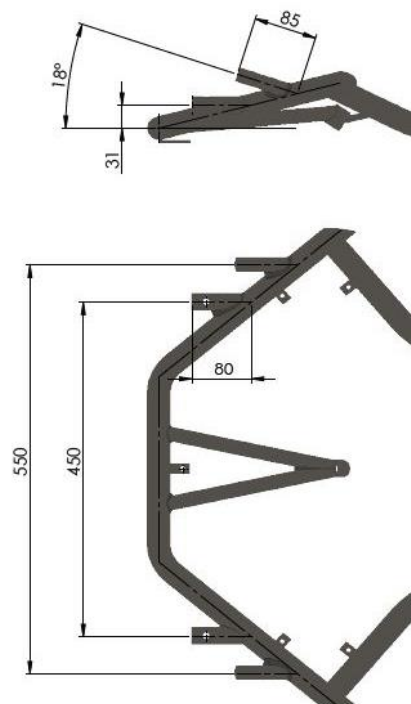


Figura 12. Dimensions dels suports dels para-xocs frontals

És important que les altures dels para-xocs compleixin amb el reglament.

4.2.1.2. Spoiler

El **spoiler** escollit és el model XTR20 amb el número d'homologació 18/CA/20. Les dimensions que proporciona el fabricant són:

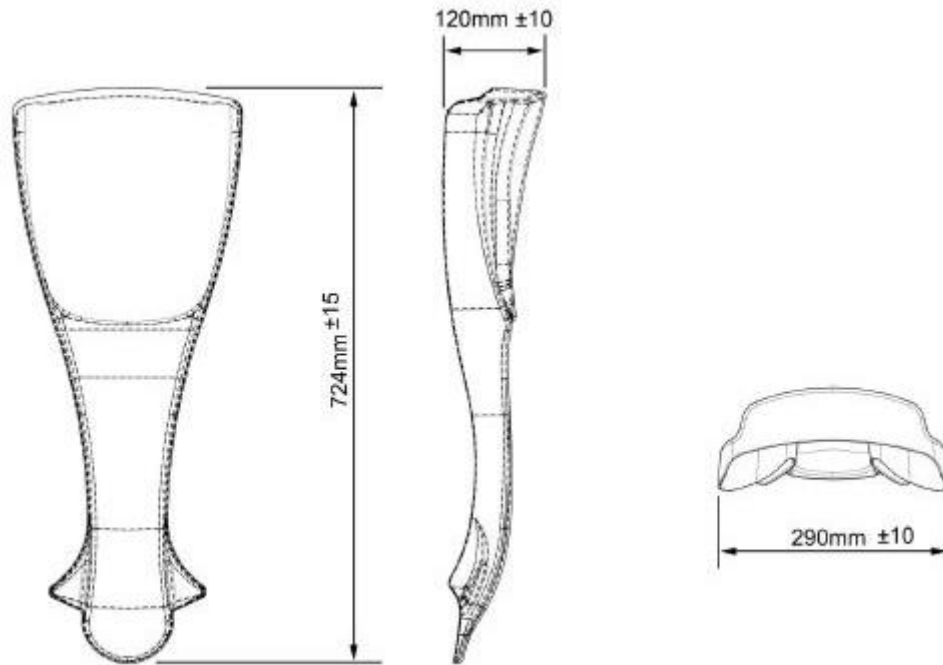


Figura 13. Dimensions del spoiler

Aquest element s'uneix a la columna de direcció per la part superior i al xassís per la part inferior mitjançant uns tirants plans d'alumini. Aquests estan ubicats de la següent forma:



Figura 14. Subjeccions del spoiler

4.2.2. Carrosseria lateral

La carrosseria lateral consta de dos components únicament: el **para-xocs** i el **carenat**. Aquest, com passa amb el carenat frontal, s'homologa junt amb el para-xocs.

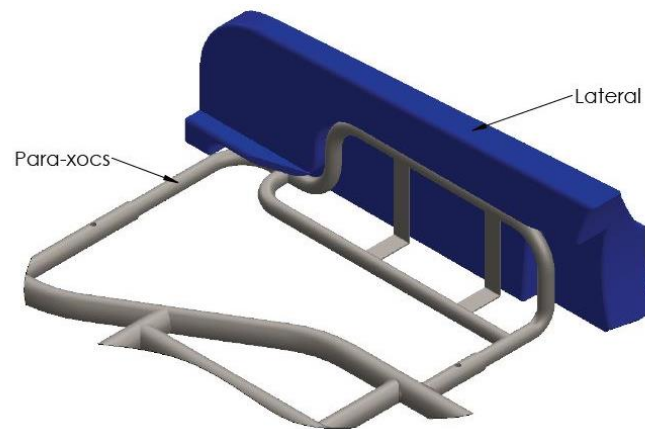


Figura 15. Elements de la carrosseria lateral

El **lateral** té la funció de resguardar dels cops que es poden patir pel costat del kart alhora de proporcionar-li aerodinàmica. Aquest va unit al **para-xocs** mitjançant cargols que al mateix temps va unit al bastidor utilitzant el mateix mètode que els para-xocs frontals.

El carenat escollit per als laterals és del model XTR14 amb el número d'homologació 102/CA/14. A continuació es pot veure les dimensions que proporciona el fabricant.

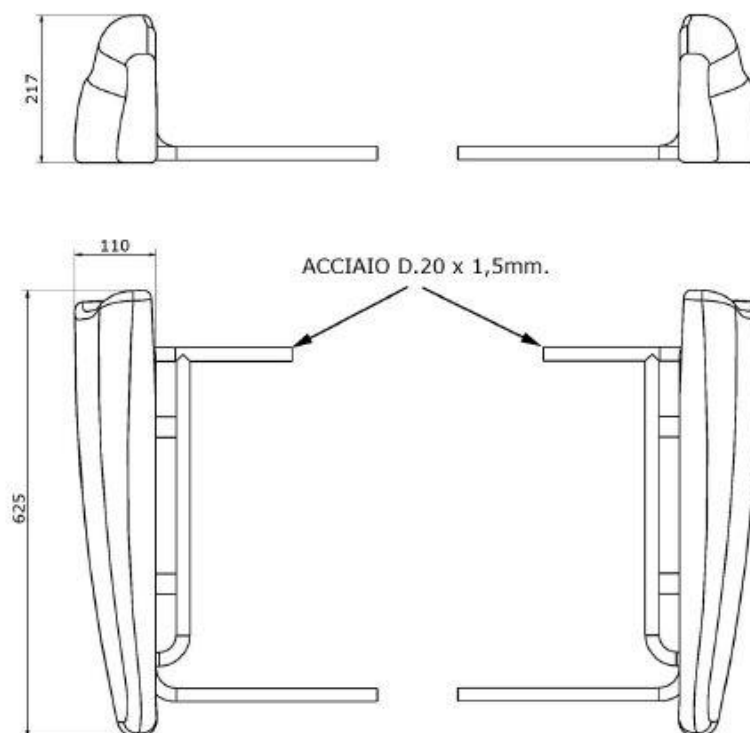


Figura 16. Dimensions de la carrosseria lateral

Els suports al xassís per als para-xocs laterals es realitzen de la mateixa forma que els suports per als para-xocs frontals. També aniran collats l'un amb l'altre per un cargol a cada tub de mètrica 8. A continuació es poden veure les dimensions que tenen i la seva ubicació.

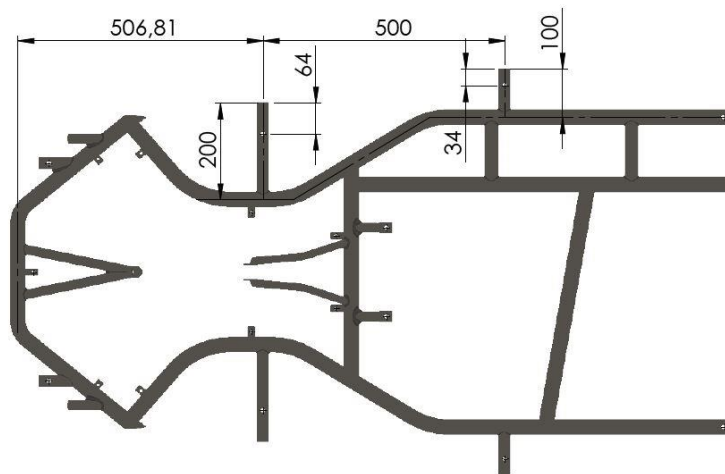


Figura 17. Dimensions dels suports laterals al xassís

4.2.3. Para-xocs posterior

El para-xocs posterior es tracta només del **carenat** que protegeix el xassís, l'eix posterior i les rodes del darrere de qualsevol xoc que es pugui donar durant les curses. Aquest element és obligatori pel reglament i ha d'anar unit al xassís.

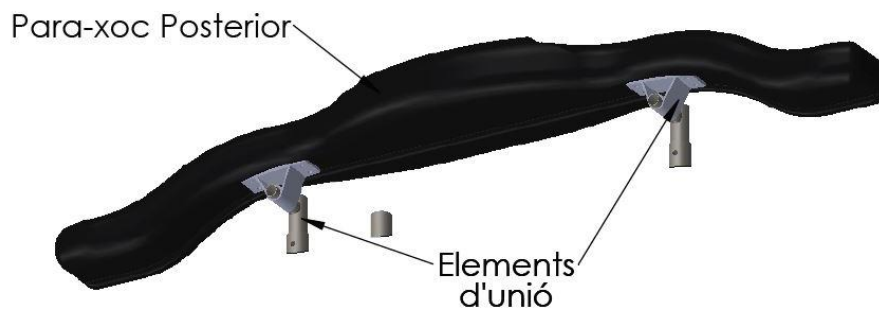


Figura 18. Elements del para-xocs posterior

L'escollit és el model XTR14 amb el número d'homologació 95/CA/14. Les dimensions proporcionades pel fabricant són

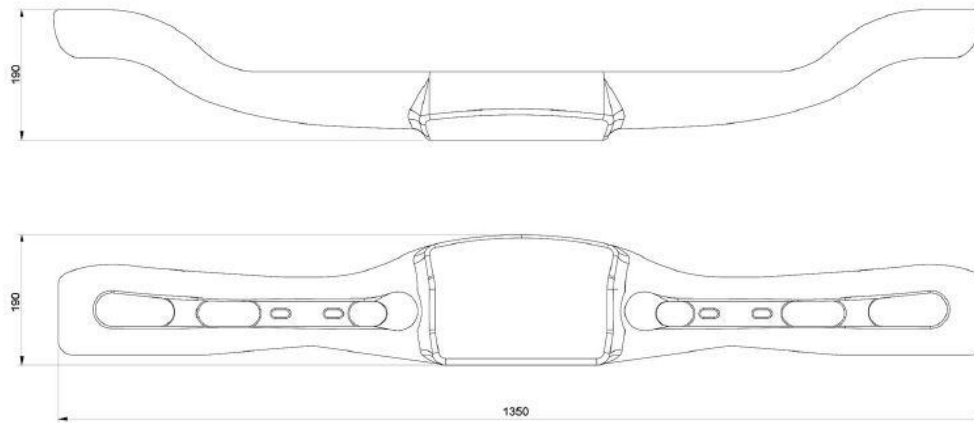


Figura 19. Dimensions de la carrosseria posterior

El seu sistema de fixació al xassís entra dintre de l'homologació. Aquest consisteix en una peça collada al carenat per 4 cargols on s'uneix amb un clip a una barra que anirà collada al bastidor. El mateix fabricant el ven en forma de kit amb totes les peces necessàries.

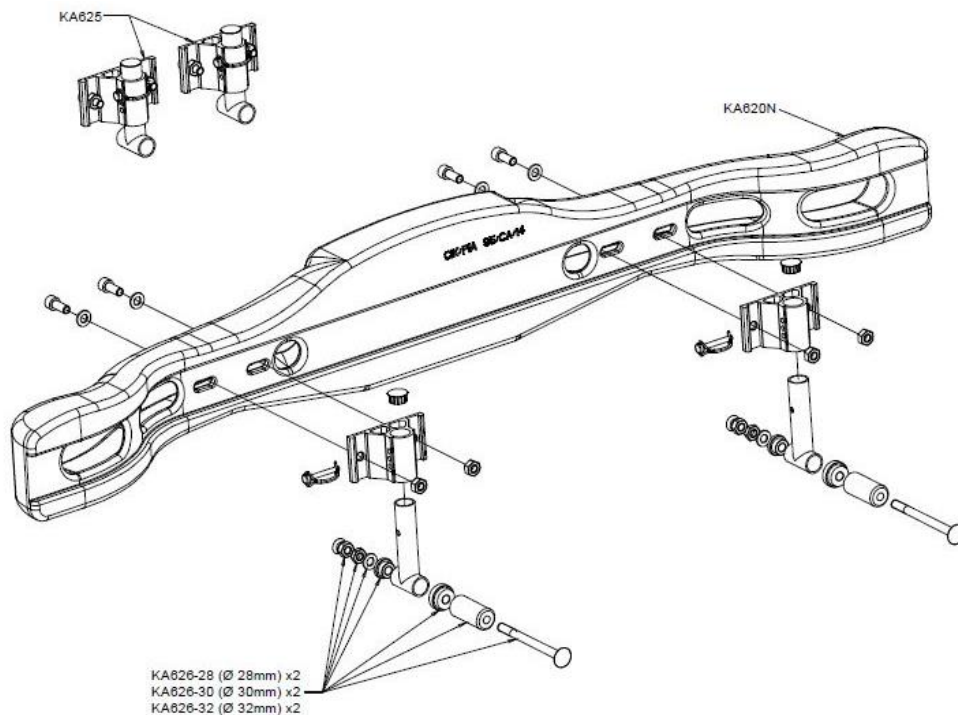


Figura 20. Sistema de fixació de la carrosseria posterior

4.2.4. Floor tray

El terra del kart és un element molt important per a la seguretat del pilot ja que el protegeix contra el contacte amb la pista. Tot i ser un element de seguretat no requereix d'homologació, encara que serà revisat pels comissaris per assegurar que compleix amb el reglament.

Com que el bastidor no és un element comercial, s'ha dissenyat el terra a partir de les dimensions d'aquest.

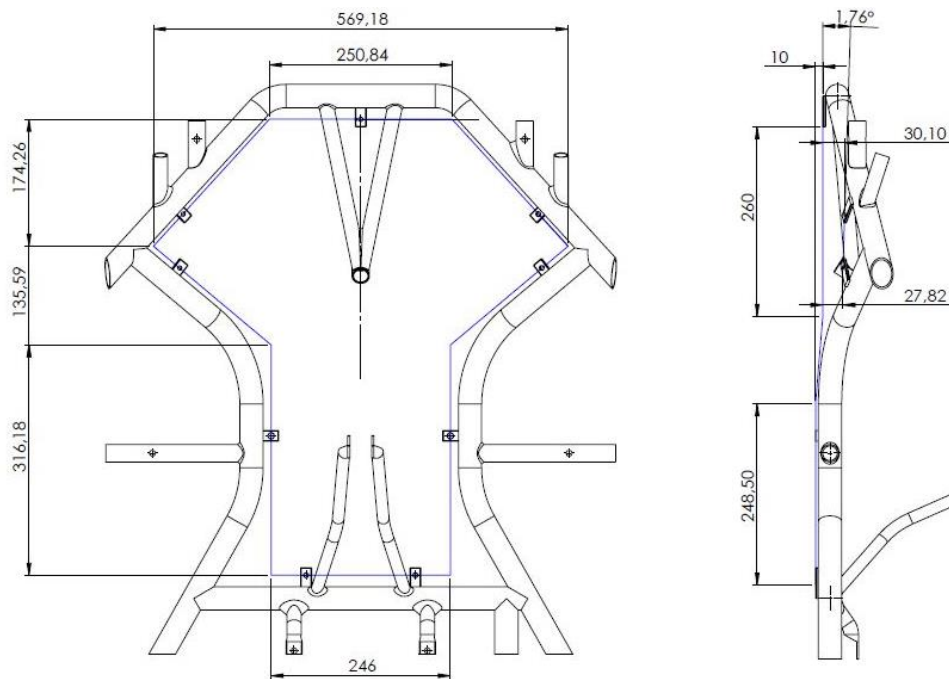


Figura 21. Dimensions del floor tray a partir del bastidor

El floor tray anirà subjectat al bastidor per cargols de mètrica 6 en unes pestanyes soldades. El material escollit per a la seva fabricació és una xapa d'alumini de 3 mm d'espessor. Les seves dimensions finals són:

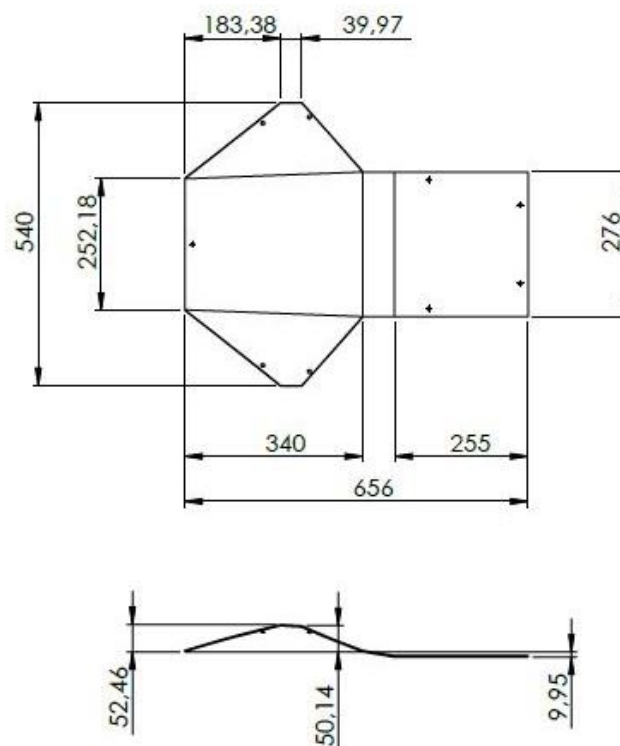


Figura 22. Dimensions del terra del kart

4.3. Sistema de direcció

El sistema de direcció d'un vehicle està compost per tots aquells elements que intervenen en controlar la orientació del kart mitjançant un volant que gira en el seu eix. Els elements principals dels quals està compost son:

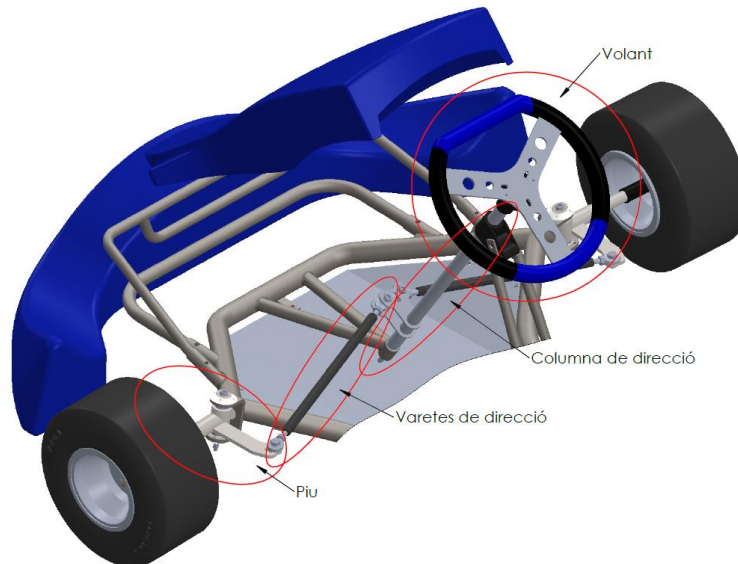


Figura 23. Elements del sistema de direcció

Tal i com s'exposa en l'apartat 2.2.4.2 del projecte, el sistema de direcció no anirà acompanyat de cap dispositiu amortidor d'oscil·lacions. Això permet un sistema més simple de construir però més difícil de conduir.

El **tipus de sistema de direcció** utilitzat en els karts és el de *bellcrank*, que consisteix en la utilització de bieletes o varetes de direcció per traduir el moviment rotatori de la columna de direcció en moviment lineal de les rodes. Aquest sistema té la avantatge de ser lleuger, econòmic i senzill ja que només es compon d'unes varetes amb ròtules als extrems units a la columna de direcció i als pius.

4.3.1. Pius

Els pius (o també conegut com manguetes) són els elements que connecten les llantes de les rodes amb el xassís i les varetes de direcció.

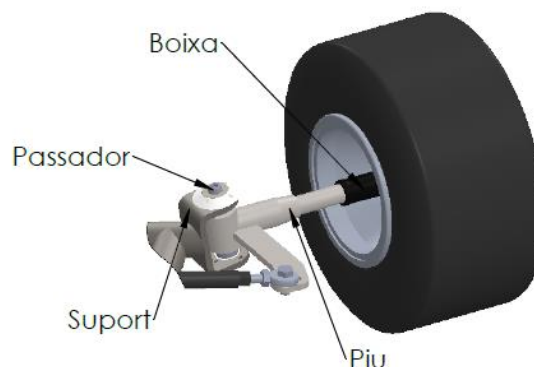


Figura 24. Connexions dels pius

Tal i com es pot veure en la imatge, entre la roda i el piu ha d'haver-hi una caixa. Aquesta permet l'ancoratge a la llanta de la roda davantera i la seva rotació sobre el piu.

El piu ha d'anar ancorat al bastidor i girar sobre el seu eix per poder, així, transmetre el sentit de gir del volant a les rodes. Per això és necessari un suport que anirà soldat al xassís i s'unirà al piu mitjançant un cargol que permetrà el gir en el seu eix sense que hi hagin desplaçaments no desitjats.

És important que aquest suport es soldi al bastidor amb un cert angle per poder donar caiguda i convergència o divergència a les rodes. Aquests són uns paràmetres molt importants que afecten directament a la conducció del vehicle. En els annexes es detalla més que és cada cosa i com afecta a la conducció del pilot.

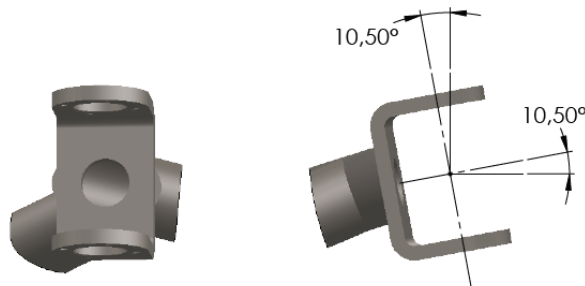


Figura 25. Angles d'inclinació del suport

Per seleccionar el **piu** cal tenir en compte que la seva llargada afectarà al comportament del kart ja que si aquesta és llarga ajuda a disminuir l'efecte bump steer (un canvi indesitjable en la direcció de la roda). Es per això que s'ha optat per un piu llarg, el model KF17ST105DX175C08 que ofereix Righetti Ridolfi en el seu catàleg. Aquest ja incorpora els rodaments necessaris per a la rotació del piu. Les dimensions base del piu són les següents:

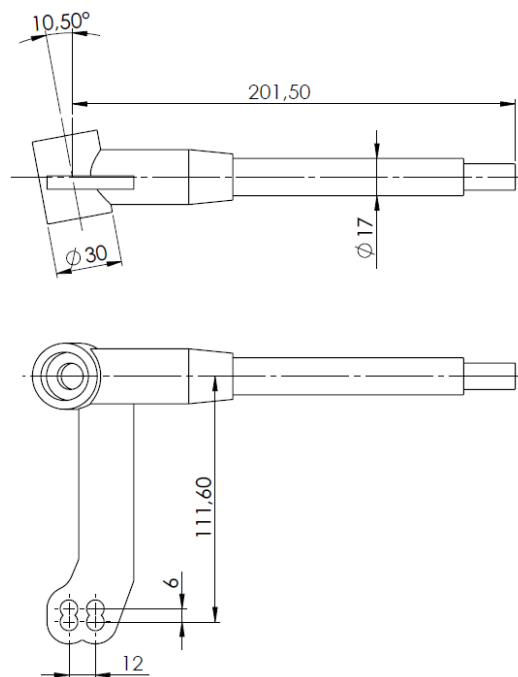


Figura 26. Dimensions piu

El mateix fabricant també ofereix el **suport** que anirà soldat al bastidor i que permetrà el gir del piu. Aquest és una peça senzilla en forma de U.

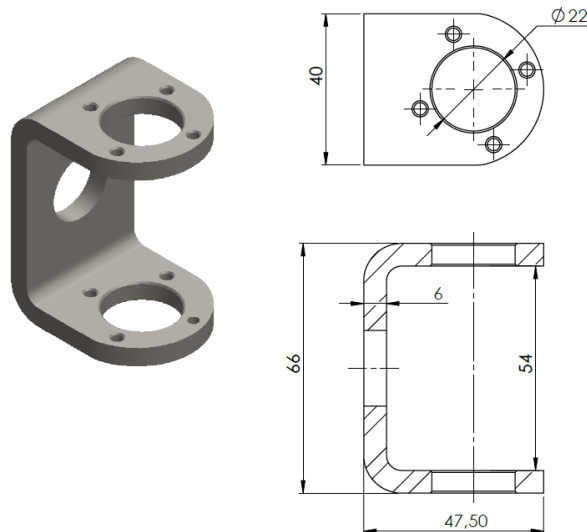


Figura 27. Dimensions suport piu

És important que un dels primers elements a determinar sigui el piu, ja que els seus diàmetres i llagada afectaran a l'elecció dels altres components, com és el cas de la **boixa**. Aquesta, el seu diàmetre interior on va allotjat al piu dependrà del diàmetre exterior d'aquest. En conseqüència, la boixa per a les rodes davanteres hauran de tenir un diàmetre interior de 17 mm.

També és important tenir en compte que aquesta haurà d'allotjar un rodament per a rotació que tindrà sobre el piu. És per això que s'ha decantat pel model K991 del fabricant Righetti Ridolfi ja que incorporen aquests rodaments.

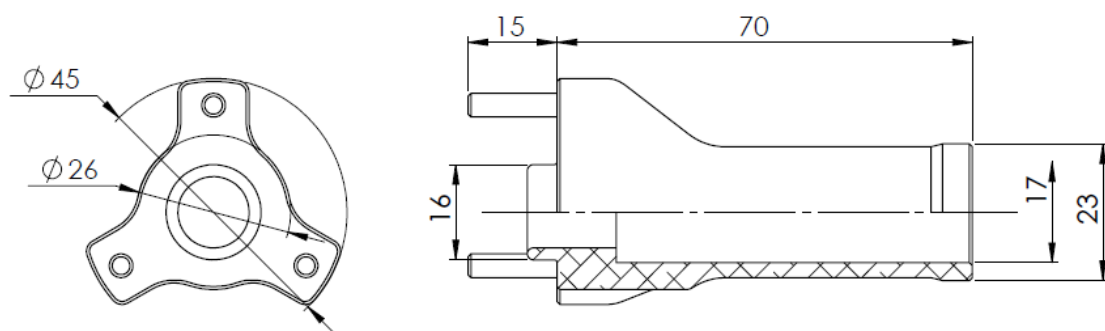


Figura 28. Dimensions boixa davantera

4.3.2. Varetas de direcció

Les varetas de direcció o bieletes consisteixen en unes varetas amb unes rosques als extrems on van ubicades unes ròtules que permeten el gir i l'alineació d'aquestes i que s'ancoren a la columna de direcció per un costat i per l'altre als pius, permetent així transformar el moviment rotatori realitzat amb el volant al moviment lineal per fer girar les rodes cap al sentit desitjat.

La seva unió per als dos extrems és mitjançant uns passadors amb un dels extrems amb rosca per tal assegurar que només giraran sobre l'eix d'unió de les peces.



Figura 29. Conjunt de la vareta de direcció

Per poder determinar la longitud de la **vareta** no es requereixen gaire càlculs, només cal mesurar la distància que existeix entre els centres de gir de les ròtules en el piu i en la columna de direcció.

Per a les dimensions del kart dissenyat es pot veure que es necessitarà una vareta amb la màxima longitud possible, de 285 mm.

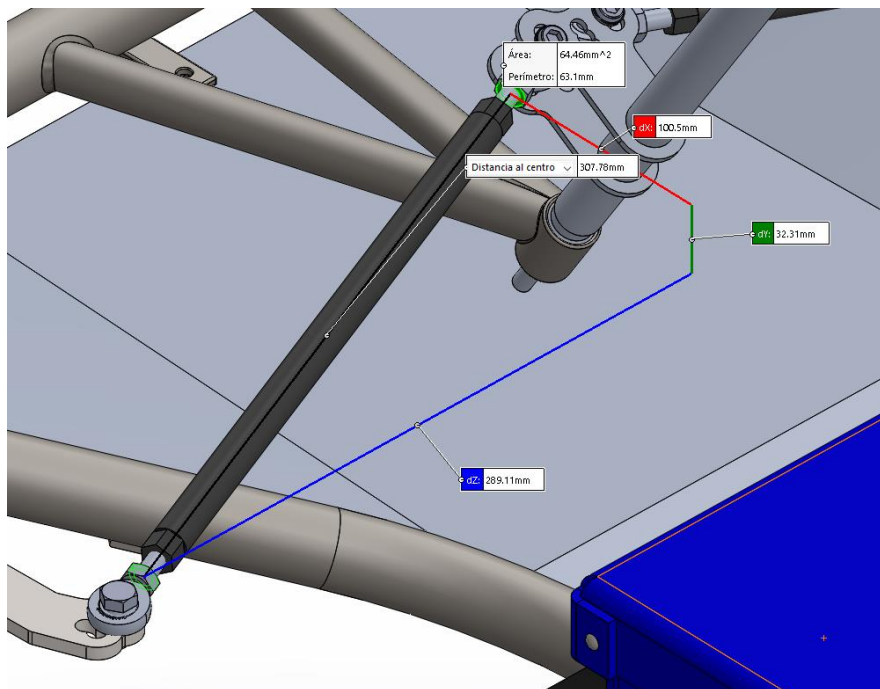


Figura 30. Distància màxima de la vareta de direcció

A l'hora d'escollir les **ròtules** és important tenir en compte que es necessitarà una ròtula diferent per a la dreta i una altra per a la esquerra. Això es deu a que el sentit de la rosca són inversos per poder assegurar que no es descargolar amb les vibracions i també poder ajustar la longitud de la bieleta sense haver de desmuntar les unions. Un altre element a tenir en compte és la mètrica de la rosca que l'unirà amb la vareta i el diàmetre interior de la ròtula necessari.

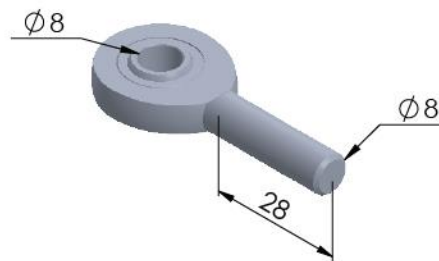


Figura 31. Ròtula per a la vareta de direcció

4.3.3. Columna de direcció

La columna de direcció és un tub d'acer el qual es fixa al xassís de forma que permeti el gir sobre el seu eix per mitjà d'un rodament de l'estil ròtula.

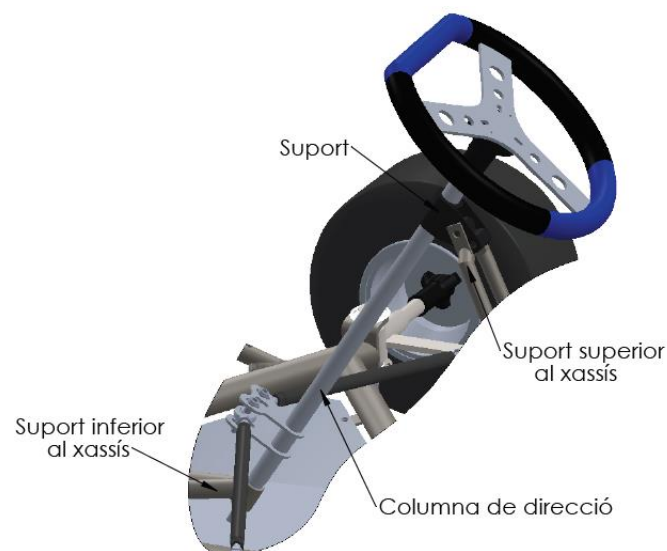


Figura 32. Conjunt columna de direcció

Segons les dimensions del kart i del pilot aquest component pot tenir diverses longituds. Per aquest cas la longitud més convenient és de 510 mm.

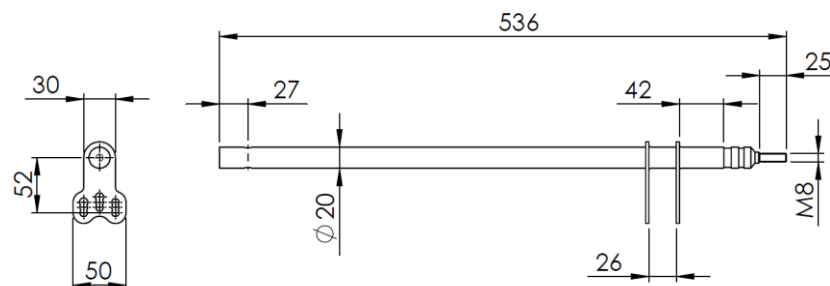


Figura 33. Dimensions columna de direcció

La columna de direcció ha d'anar ancorada al xassís tant per la part superior com per la part inferior. En el cas de la part superior s'utilitzarà un suport de resina on anirà cargolats els suports soldats al bastidor. Per a la part inferior s'utilitzarà un tub on anirà ubicat la ròtula. Aquest tub ha de tenir una inclinació aproximada de 25° i anirà subjectada per soldadura a uns suports, també soldats a la part davantera del bastidor.

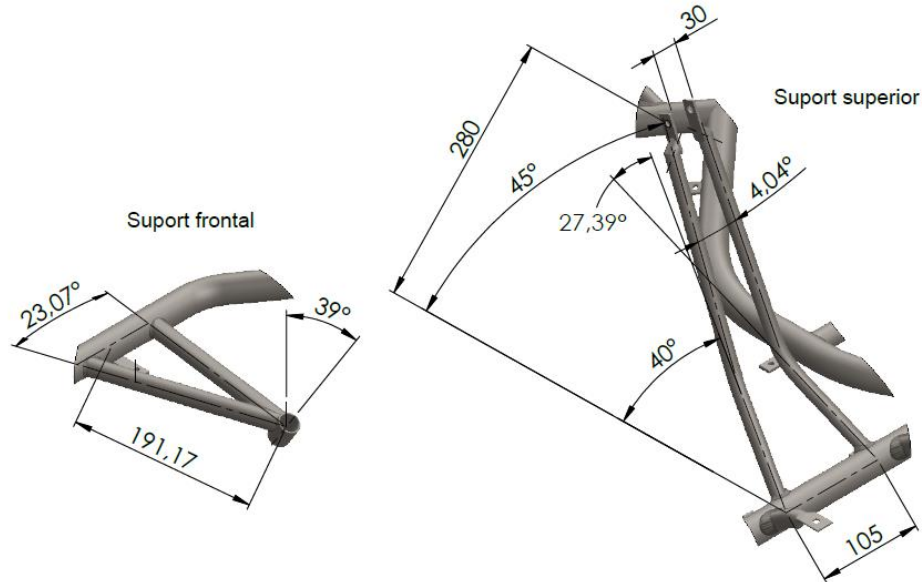


Figura 34. Suports de la columna de direcció

4.3.4. Volant

El volant és el component amb el qual interactua directament el pilot per controlar la direcció del kart. Aquest va unit a la columna de direcció per mitjà d'una boixa amb la part on es col·loca el volant inclinada per a la millora del maneig per al pilot. També ha de complir uns paràmetres mencionats en l'apartat 2.2.4.4 del reglament tècnic.

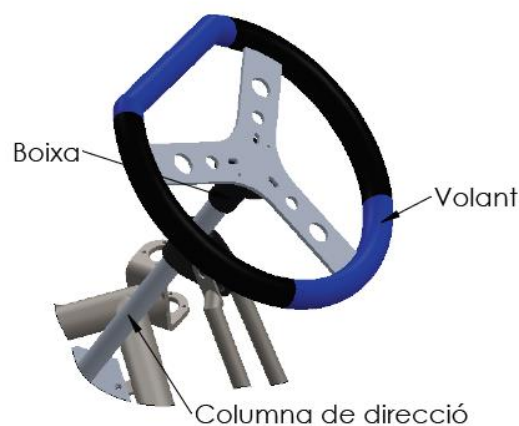


Figura 35. Conjunt Volant-Columna de direcció

El diàmetre exterior del **volant** per a un kart varia entre els 200 i els 350 mm, on més gran sigui el diàmetre del volant més moviment haurà de fer les mans per girar el mateix nombre de graus que amb un diàmetre més petit. La avantatge que presenta un diàmetre més gran de volant es de poder aconseguir una

direcció més sensible. Per al volant del kart s'ha seleccionat un diàmetre de 300 mm ja que és la mesura més estàndard. També s'ha escollit un amb la part superior recte per poder fer més visual la direcció a la que anirà el vehicle.

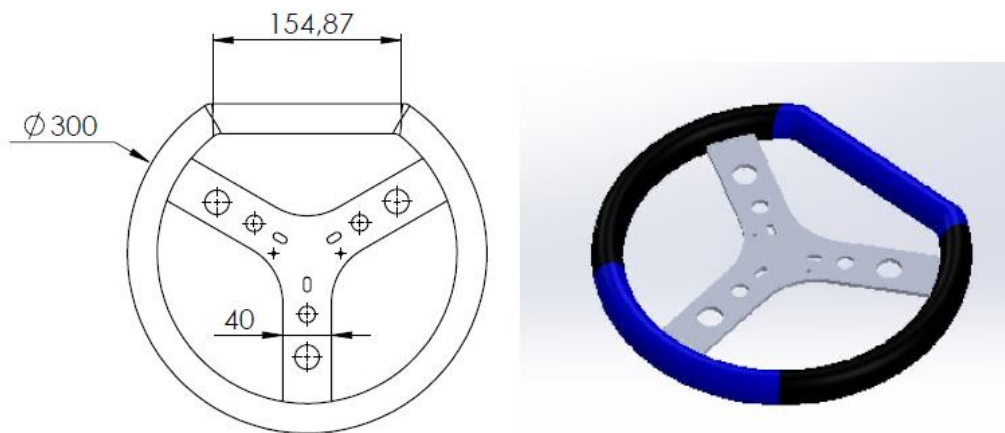


Figura 36. Dimensions volant

La **boixa** utilitzada per unir el volant amb la columna de direcció tindrà una inclinació de 8° fixe.

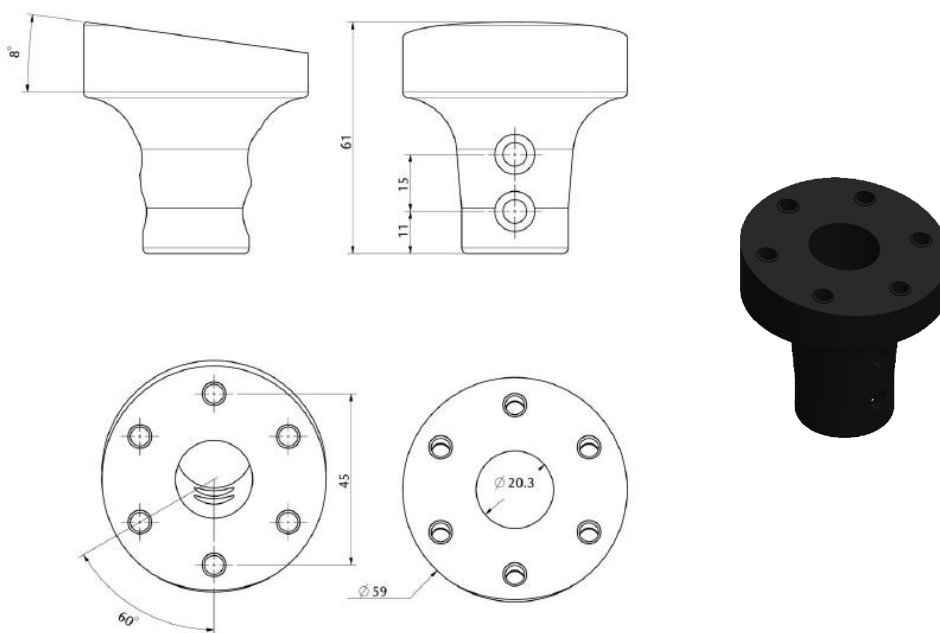


Figura 37. Dimensions boixa per al volant

4.4. Sistema de la Unitat de Potència

El Sistema de la Unitat de Potència és el conjunt que s'encarrega de moure el kart, és a dir, el conjunt de components que genera i transmet la potència del motor cap a les rodes motrius. Aquest es dividirà en quatre grups:

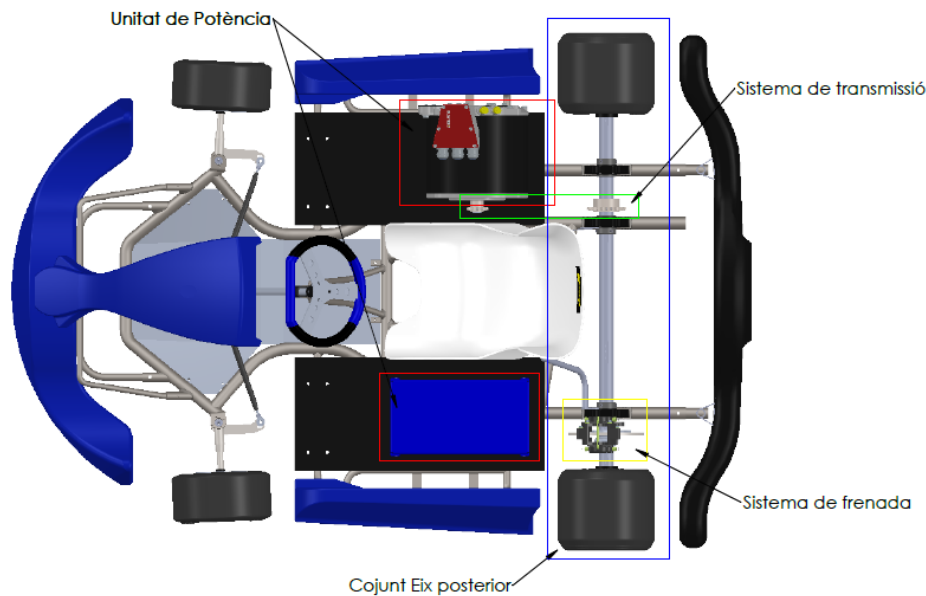


Figura 38. Conjunt del Sistema d'Unitat de Potència

4.4.1. Eix posterior

L'eix posterior és un tub d'acer que gira sobre el seu eix i que permet girar les rodes posteriors. Està situat a 1010 mm de l'eix davanter (el mínim permès per la CIK-FIA).

El conjunt de l'eix posterior consta de l'eix en sí més tots aquells elements que ajuden al seu acorament al xassís o al de altres components sobre ell mateix.

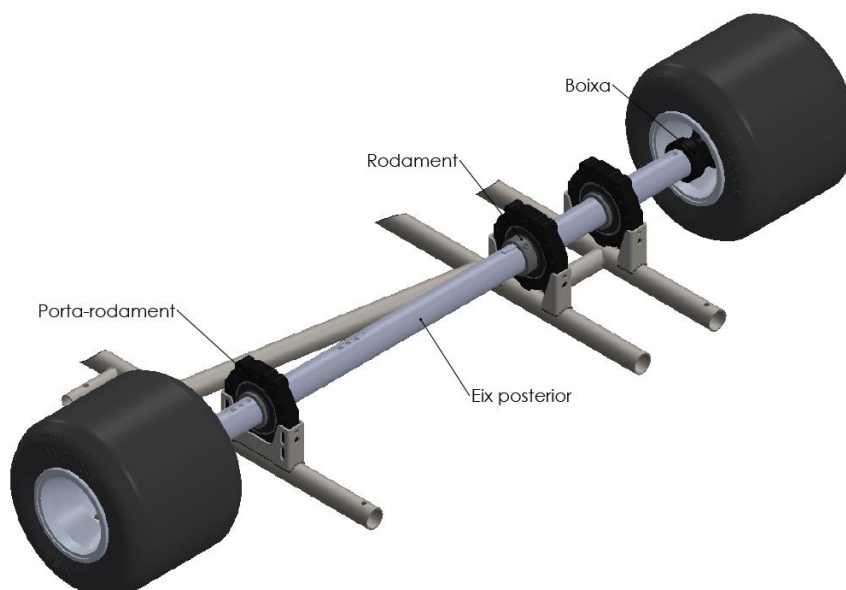


Figura 39. Conjunt eix posterior

Per començar a dissenyar el sistema de la unitat de potència, primer de tot cal determinar l'eix que s'utilitzarà. En el cas d'optar per elements comercials, com és el cas del projecte, aquest es ven amb una sola llargària de 1040 mm. On es tindrà joc per escollir és en el seu diàmetre ja que es troben de 30, 40 o 50 mm. També es podrà escollir entre un eix amb 3 o 5 xavetes.

Per aquest cas s'ha decantat per un eix de 40 mm de diàmetre amb 5 xavetes perquè hi aniran muntats una corona per a la transmissió i un porta-disc de fre per al sistema de frenada. Pel que fa al diàmetre de 40 mm es deu a que és una dimensió molt estàndard que la majoria de kart porta, per tant és més fàcil de trobar components i recanvis.

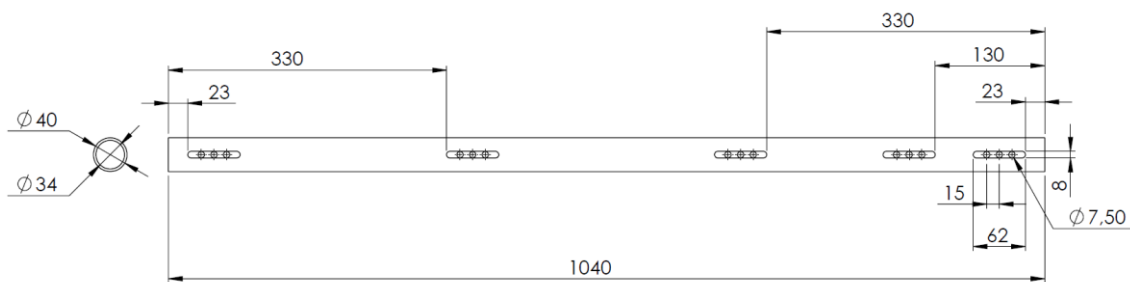


Figura 40. Dimensions eix posterior

Per tal d'assegurar que l'eix pugui girar sense problemes i alhora estigui unit al xassís, cal col·locar uns **rodaments** en els punts de recolzament. Si es compren en un lloc especialitzat en components per a karts només caldrà tenir en compte el diàmetre interior on anirà allotjat l'eix.

Aquests rodaments cal que vagin cargolats al xassís, per tant s'utilitzaran uns **porta-rodaments** que es soldaran al bastidor. És important escollir primer els rodaments i després els porta-rodaments ja que aquests hauran de tindre unes dimensions interiors mínimes. El fabricant proporciona les següents mesures:

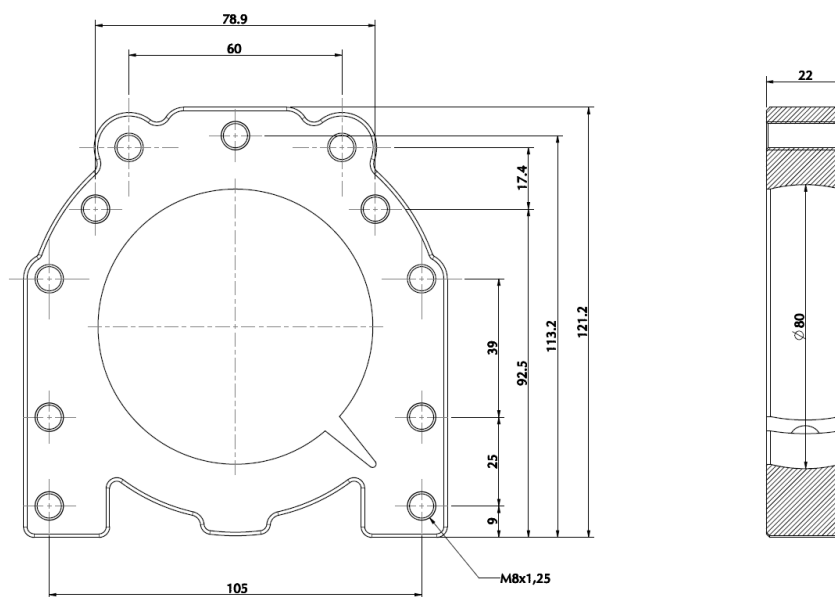


Figura 41. Dimensions porta-rodament

Per fer moure les rodes posteriors solidàriament a l'eix es requereix d'unes **boixes** que aniran fixes a les llantes i en aquest mateix. A diferència de les boixes de les rodes de davant, aquestes no necessiten rodaments.

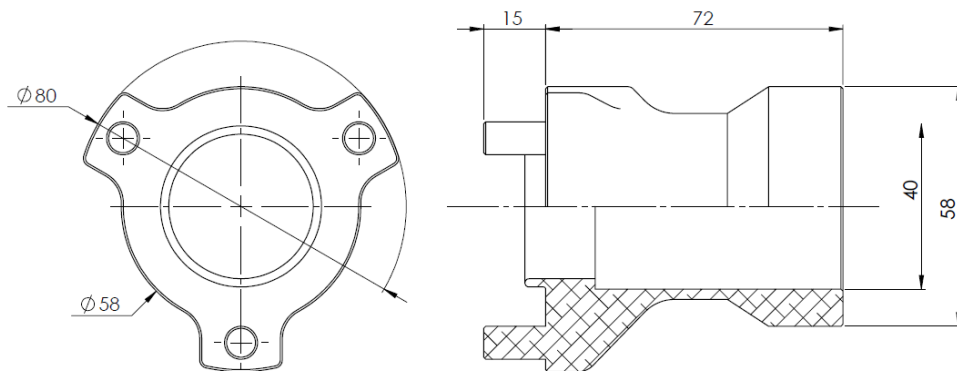


Figura 42. Dimensions caixa posterior

4.4.2. Unitat de Potència

La unitat de potència és la encarregada de transformar la energia necessària emmagatzemada en les bateries en potència per tal de poder moure el kart. Està composta per la bateria, el motor elèctric i el pedal d'accionament, a més dels elements auxiliars que requereixen la bateria i el motor.

En aquest projecte només es focalitzarà en l'elecció del motor i la potència necessària i el tipus de cel·les de bateries amb la capacitat requerida i la seva connexió per tal d'obtenir l'autonomia necessària per a les curses.

4.4.2.1. Motor elèctric

A partir de l'elecció realitzada en l'apartat 3.2.1 de la memòria, s'utilitzarà un motor elèctric síncron d'imants permanents. Per saber quina potència màxima consumirà el motor es fa una primera aproximació només tenint en compte el pes total del kart.

HIPÒTESI

- i) No es té en compte la resistència gravitatòria ja que les pistes de kart no presenten grans desnivells (màxim 5°). Per tant es considerarà que es roda sobre una **pista totalment horitzontal** ($\Theta = 0^\circ$).
- ii) Es **menysprea la residència aerodinàmica** ja que es tracta d'un càlcul estimatiu.
- iii) S'estima que la **massa del kart**, amb pilot inclòs, és de **175 kg** (la mínima establerta per la CIK-FIA).
- iv) Es vol arribar a una **velocitat màxima de 130 km/h** amb una **acceleració de $7,5 \text{ m/s}^2$** .

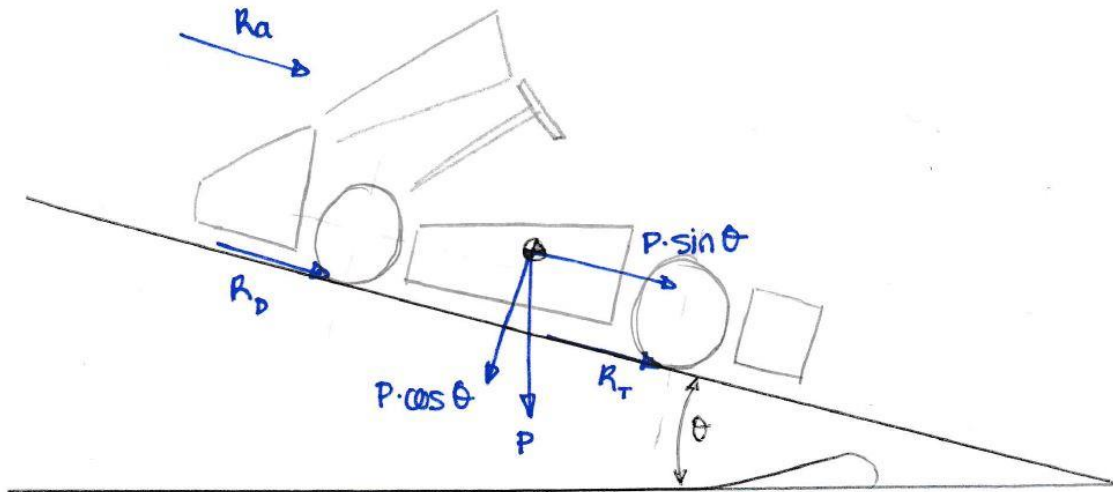


Figura 43. Croquis forces que actuen sobre el kart

La potència pic a la qual arribarà el motor amb les condicions establertes es determina a partir de la expressió:

$$Pot_{PIC} = F \cdot v_{MAX}$$

on F és la força total que haurà de contrarestar el motor elèctric per tal de fer avançar el kart a 130 km/h. Aquesta força es determina a partir de la segona llei de Newton sobre les diferents forces que hi actuen sobre el cotxe.

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F - F_{ROD} = m \cdot a \rightarrow \underline{F = m \cdot a + F_{ROD}}$$

Aplicant les hipòtesis (i) i (ii), la resistència al rodament queda:

$$F_{ROD} = R_A + R_R + R_G \rightarrow \underline{F_{ROD} \approx R_R = f_r \cdot P}$$

$$F_{ROD} = 0,015 \cdot \left(175 \text{ kg} \cdot \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \right) \rightarrow \underline{F_{ROD} = 25,75 \text{ N}}$$

Per tant, la força que haurà de vèncer el kart a 130 km/h és

$$F = 175 \text{ kg} \cdot 7,5 \text{ m/s}^2 + 25,75 \text{ N} \rightarrow \underline{F = 1338,25 \text{ N}}$$

Finalment es pot determinar la potència pic a la que treballarà el motor elèctric.

$$Pot_{PIC} = 1338,25 \text{ N} \cdot \left(130 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right)$$

$$\underline{Pot_{PIC} = 48325,69 \text{ W} = 48,3 \text{ kW}}$$

Així doncs calen 48,3 kW per poder arribar als 130 km/h. Aquesta és la potència pic a la que es vol que arribi el motor, però s'aplicarà un factor de seguretat del 20% per tal de que el motor mai pugui arribar a màxima potència de treball.

$$Pot_{MAX} = Pot_{PIC} \cdot 1,20 = 48,3 \text{ kW} \cdot 1,20 \rightarrow \boxed{Pot_{MAX} = 57,99 \text{ kW}}$$

Finalment es determina que el motor haurà de treballar a una **potència màxima de 58 kW**. En el mercat de motors elèctrics per a karts només s'ha trobat un que pugui proporcionar aquesta potència sense tenir que treballar al màxim rendiment, cosa que provocaria la seva ruptura molt aviat. Aquest es tracta del fabricant BRUSA i el seu motor més petit és capaç de proporcionar 70 kW de potència nominal i 96 kW a màxima potència.

El model escollit és el **HSM1-6.17.12**, el model més petit. Segons les dades proporcionades pel fabricant per aquest motor, les seves corbes de potència-parell-rpm són:

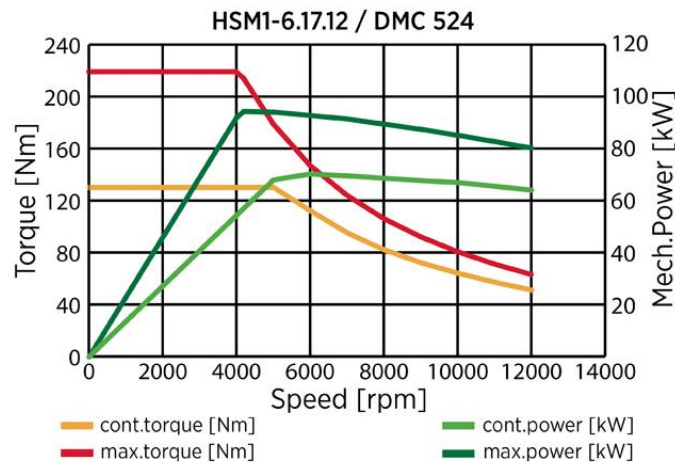


Figura 44. Gràfica relació Parell-Potència-Velocitat del motor elèctric

Per poder controlar la potència de sortida en relació a la senyal del potenciòmetre situat en el pedal de l'accelerador, cal un controlador i un inverter. El propi fabricant et recomana l'**inverter** segons el model i la potència de sortida que vols obtenir. Per aquest cas s'ha decantat per l'inverter **DMC524** ja que proporciona tota la potència de sortida necessària.

4.4.2.2. Bateria

Segons la selecció del tipus de bateria realitzada en l'apartat 3.3.2, les cel·les que composaran la bateria són de tipus LiPo. Aquestes requereixen d'un BMS (Sistema d'administració de bateria) que anirà connectat a cada cel·la per tal de regular el voltatge i la temperatura.

Segons el reglament tècnic, per aquestes bateries el seu pes màxim permès és de 23 kg. Per tant s'haurà de buscar unes cel·les que donin la màxima capacitat possible amb el mínim pes.

Dintre del mercat de cel·les per a la construcció de bateries per a vehicles elèctrics, s'ha trobat que la màxima capacitat que pot donar és de 21 Ah amb un pes de 0,393 kg.

Per determinar l'autonomia de la bateria es farà a partir del nombre màxim de cel·les que el reglament permet a partir del pes màxim, essent de 24 kg per a les bateries LiPo.

HIPÒTESI

- i) La temperatura de treball de la bateria és de 20 °C.
- ii) Es treballarà fins al 90% de profunditat de descàrrega. Es deixa un 10% de marge per poder assegurar que es pot acabar la cursa.
- iii) El voltatge de la bateria és de 48,1 V.

El **nombre màxim de cel·les** de bateries que es podran utilitzar ve donat per:

$$\text{Núm. Cel} \cdot \text{les}_{MAX} = \frac{\text{Pes Màxim}}{\text{Pes cel} \cdot \text{la}} = \frac{24 \text{ kg}}{0,393 \text{ kg}} = 61,069 \text{ cel} \cdot \text{les}$$

$$\underline{\text{Núm. Cel} \cdot \text{les}_{MAX} \cong 61 \text{ cel} \cdot \text{les}}$$

Per tal de que sigui fàcil d'organitzar dintre d'una caixa s'utilitzaran 60 cel·les. Aquestes donaran una **capacitat total** de:

$$\text{Capacitat}_{TOTAL} = \text{Capacitat}_{CEL-LA} \cdot \text{Núm. Cel} \cdot \text{les}$$

$$\text{Capacitat}_{TOTAL} = 21\text{Ah} \cdot 60 \text{ cel} \cdot \text{les} \rightarrow \underline{\text{Capacitat}_{TOTAL} = 1260 \text{ Ah}}$$

Per tant, l'**autonomia** que proporcionarà la bateria és de:

$$\text{Autonomia} = \frac{\text{Profunditat descàrrega} \cdot \text{Voltatge cel} \cdot \text{la} \cdot \text{Capacitat}}{\text{Potència consumida}}$$

$$\text{Autonomia} = \frac{0,90 \cdot 48,1 \text{ V} \cdot 1260 \text{ Ah}}{65\,000 \text{ W}} = 0,83916 \text{ h}$$

$$\text{Autonomia} = 0,83916 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = \boxed{50,35 \text{ min}}$$

Totes aquestes cel·les aniran dintre d'una **caixa** juntament amb el BMS per tal de resguardar-les de les condicions climàtiques i dels cops. Aquesta conformarà la bateria i estarà construïda a partir de xapa d'acer. Per saber quines dimensions haurà de tenir, s'ha fet un petit estudi per saber quina distribució de les cel·les ocupen menys espai.

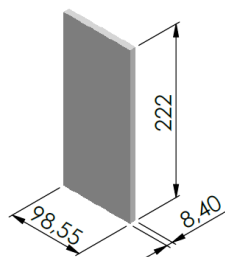


Figura 45. Dimensions cel·la de 21Ah

| OPCIÓ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------|------|-----|-------|-----|-------|-----|------|------|--------|------|------|------|
| Quant. Fila | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 | 12 | 15 | 20 | 30 | 60 |
| Quant. Columna | 60 | 30 | 20 | 15 | 12 | 10 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Base caixa [mm] | 98,5 | 197 | 295,5 | 394 | 492,5 | 591 | 985 | 1182 | 1477,5 | 1970 | 2955 | 5910 |
| Amplada caixa [mm] | 504 | 252 | 168 | 126 | 100,8 | 84 | 50,4 | 42 | 33,6 | 25,2 | 16,8 | 8,4 |

Taula 13. Estudi distribucions de les cel·les

Finalment, s'ha decantat per la **opció 3**. Per tant, la caixa queda:

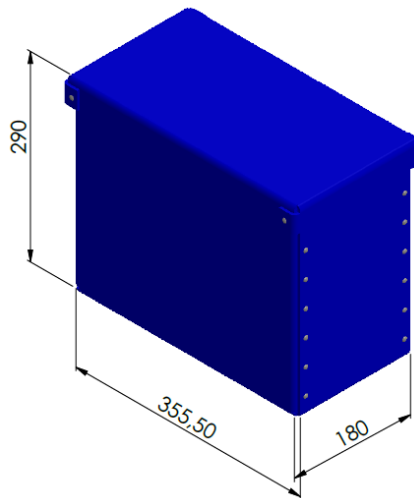


Figura 46. Dimensions de la caixa de la bateria

Aquesta anirà fixa a un terra que es col·locarà en el costat esquerre del kart i que alhora anirà fixat al xassís.

4.4.2.3. Pedal d'accionament

Per tal de saber quina potència requereix el pilot en cada moment de la cursa per a transmetre al motor elèctric es necessita un pedal d'accionament específic per a vehicles elèctrics. Aquest està controlat electrònicament per la centraleta o controlador de la unitat de potència i modifica el voltatge que ha d'arribar en aquesta per saber la potència que ha de subministrar el motor.

Per al projecte s'ha escollit un pedal amb potenciòmetre ja que es podrà obtenir una millor sensibilitat a l'hora de modificar el voltatge impulsat.

4.4.3. Sistema de transmissió

El sistema de transmissió és el que permet transmetre la potència que genera el motor elèctric a l'eix posterior. En el cas de tots els karts és de cadena de estil directe, és a dir, està compost per un pinyó a la sortida del motor i una roda dentada en el eix posterior units per una cadena.

Aquest tipus de transmissió asseguren que no es generin lliscaments i mantenir constant la relació de velocitat. No es recomana utilitzar aquest tipus de transmissió quan la relació que es vol obtenir és major de 8:1.

Per saber quina és la **relació de transmissió** que es necessita en el kart, cal saber a quina velocitat girarà l'eix del motor i l'eix posterior. Per tant:

- Eix Motor

Tenint en compte el rendiment del motor, la màxima potència amb la que treballarà és de:

$$Pot_{MAX,Real} = \frac{Pot_{MAX}}{\eta_{mec}} = \frac{58 \text{ kW}}{0,95} \rightarrow \underline{Pot_{MAX,Real} \cong 61 \text{ kW}}$$

A partir de la gràfica proporcionada pel fabricant, per aquesta potència màxima amb la que treballarà aquest girarà a **4500 rpm** en règim continu.

- Eix Posterior

La roda es desplaçarà a 130 km/h, la màxima velocitat a la que es vol arribar. Si es té en compte que aquesta té un radi de 128,5 mm:

$$v_{MAX} = \omega_{MAX} \cdot r$$

$$\omega_{MAX} = \frac{v_{MAX}}{r} = \frac{130 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{128,5 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}} \cong 281,02 \text{ rad/s}$$

$$\underline{\omega_{MAX} = 2683,5 \text{ rpm}}$$

La relació de transmissió ve donat per l'expressió:

$$i = \frac{\omega_{MOTOR}}{\omega_{RODA}}$$

Tenint en compte les velocitats obtingudes, s'obté una relació de transmissió de

$$i = \frac{4500 \text{ rpm}}{2683,5 \text{ rpm}} = 1.677 \rightarrow \boxed{i \approx 2:1}$$

Una vegada determinada la relació de transmissió cal determinar el **número de dents** que tindran les rodes dentades o sprokets.

HIPÒTESI

i) La roda dentada al costat motor té 12 dents.

A partir de la relació de transmissió calculada, es té que el número de dents del sproket al costat de l'eix posterior és de

$$i = \frac{Z_{MOTOR}}{Z_{EIX}} \rightarrow Z_{EIX} = \frac{Z_{MOTOR}}{i} = \frac{12 \text{ dents}}{1:2} \rightarrow \boxed{Z_{EIX} = 24 \text{ dents}}$$

A l'hora de determinar la cadena és important tenir en compte el rendiment que pot proporcionar ja que aquest serà l'únic factor que es tindrà en compte en el rendiment de la transmissió. És per això que s'ha decantat per una **cadena 428 d'alt rendiment**, ja que aquesta proporciona un rendiment aproximat del 98%.

Finalment, el sistema de transmissió queda:

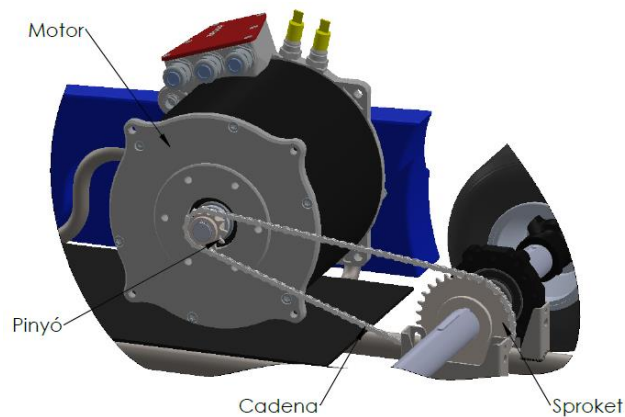


Figura 47. Sistema de transmissió

4.4.4. Sistema de frenada

El sistema de frenada està compost pel pedal de fre, el disc de fre i la pinça, la qual ha de ser del tipus hidràulica segons com s'indica en el reglament tècnic. Aquest es comprarà al fabricant Righetti Ridolfi ja que venen el kit sencer del sistema de frenada davanters i posterior amb els cables i la bomba hidràulica.

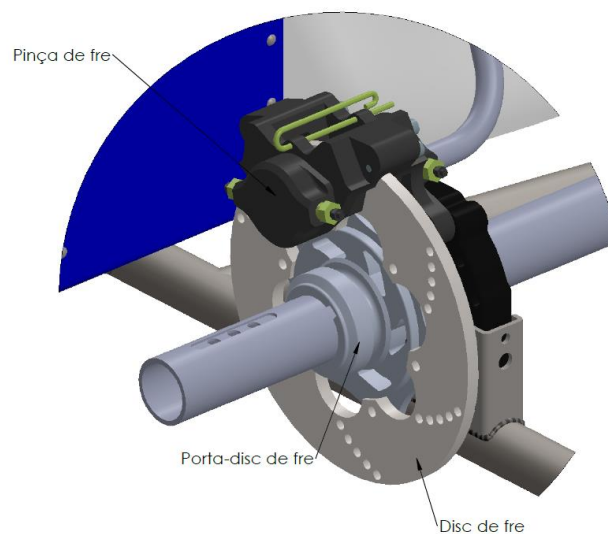


Figura 48. Elements del sistema de frenada

Per poder subjectar el disc de fre caldrà utilitzar un porta-disc. Aquest ha de tenir un diàmetre interior de 40 mm i les seves dimensions bàsiques que proporciona el fabricant són:

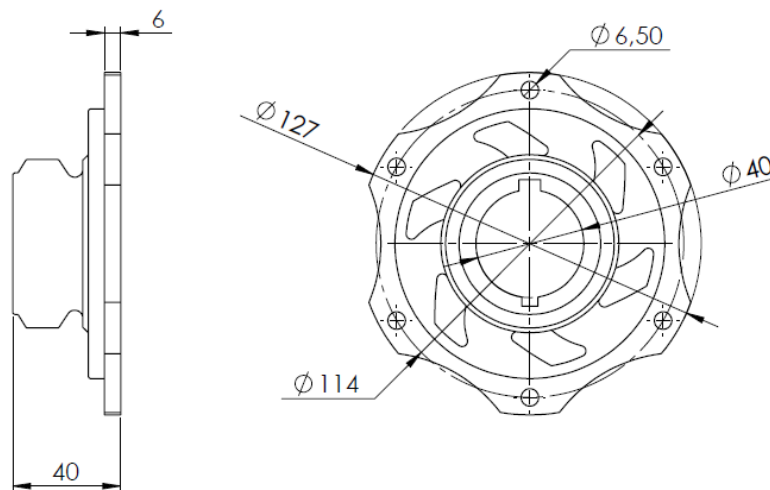


Figura 49. Dimensions porta-disc de fre

A més es necessitarà un suport per a la pinça de fre compatible que recomana el fabricant. Aquest té les següents dimensions proporcionades pel fabricant.

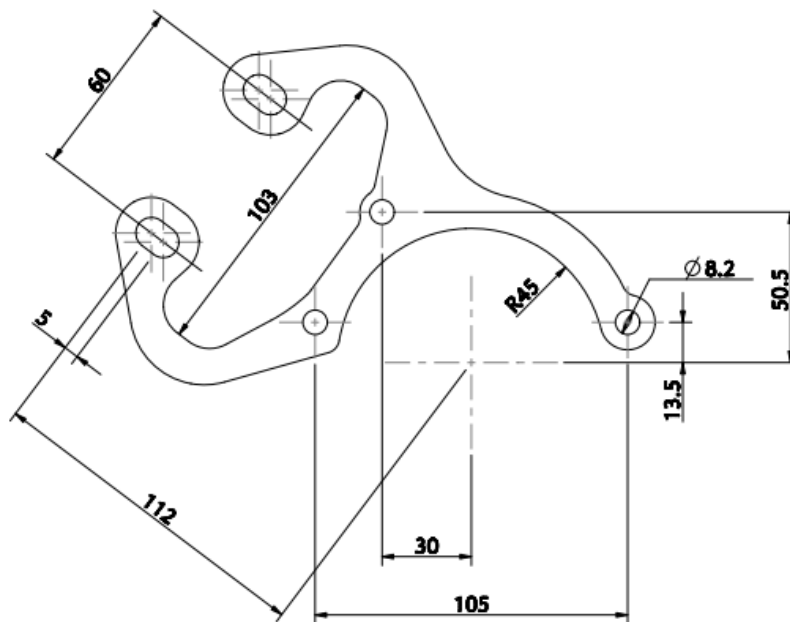


Figura 50. Dimensions suport pinça de fre

4.5. Seient

El seient, tot i no ser un dels components més importants del kart, sí és un element essencial de forma que el pilot pugui conduir el vehicle. Aquest ha de complir una sèrie de normatives reflectides en el reglament tècnic de la CIK-FIA mencionat en l'apartat 2.2.4.5 del projecte.

Per a la elecció d'aquest component cal tenir en compte l'altura i el pes del pilot. En el projecte s'ha suposat una persona de 70 kg amb una altura de 1,70 m, per tant, a partir de la taula de talles que proposa el fabricant s'ha escollit un seient de model KS301T-3S de la talla L.

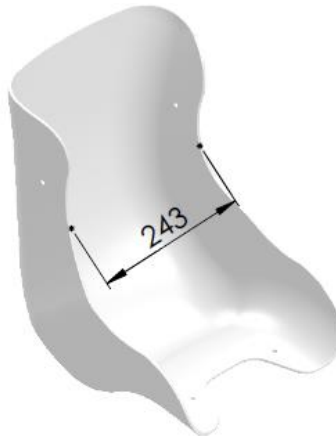


Figura 51. Seient

El seient cal ancorar-lo al bastidor tant per la part inferior com per la part superior. Per a la part inferior s'han realitzat unes pestanyes a partir d'un tub d'acer aixafat per un dels extrems i per l'altre soldat al bastidor.

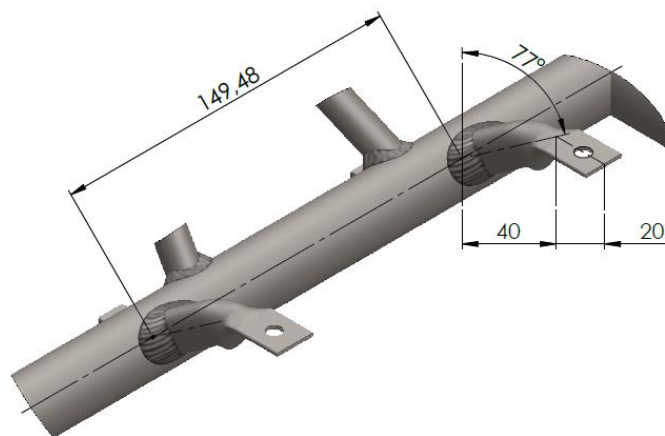


Figura 52. Ancorament inferior del seient al xassís

En el cas de la part superior s'utilitzaran uns tirants que aniran cargolats als rodaments. Aquesta opció és molt més barata que soldar un tub al bastidor. També proporciona molt més joc a l'hora de regular el seient.

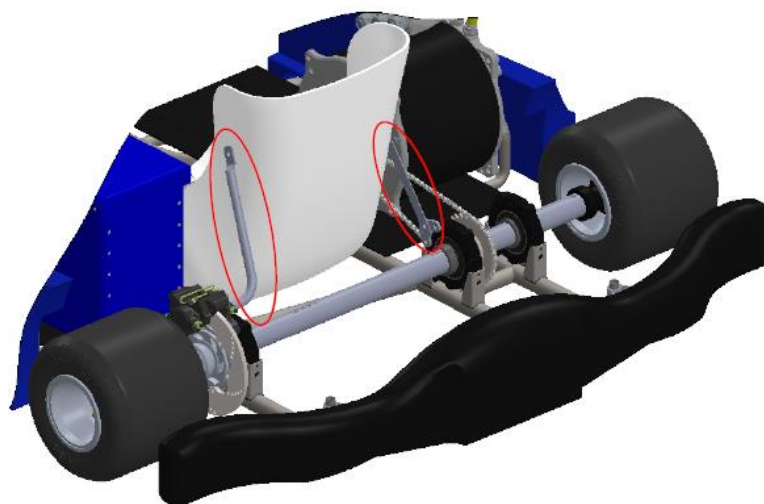


Figura 53. Subjeccions superiors del seient

4.6. Rodes

Les rodes són un dels elements imprescindibles i de molta importància en el rendiment del vehicle al llarg de la cursa. Aquestes estan compostes per la llanta i el neumàtic o carcassa.

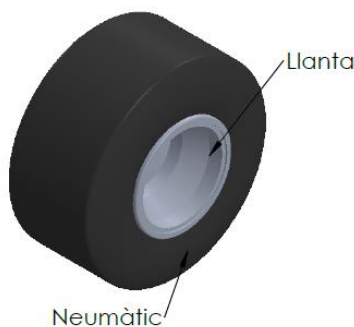


Figura 54. Roda

Per a les categories de karts la federació espanyola indica específicament quin fabricant i model de neumàtics han de portar els participants dels campionats. El kart s'ha dissenyat per a la equivalència de la categoria junior i sènior, per tant segons les indicacions de la federació espanyola, per poder competir en els campionats de tota Espanya cal portar **neumàtics VEGA XH2** per a les curses en sec i VEGA W5 per a les curses en mullat.

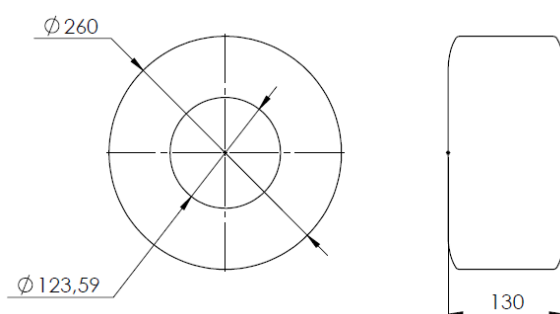


Figura 55. Dimensions del neumàtic

Pel que fa a les **llantes** aquestes estan regulades per la CIK-FIA, per això s'escolliran unes que ja estiguin homologades. Només caldrà tenir en compte que no poden ser de magnesi, ja que aquest element està prohibit, i només poden ser de 5 o 6 polzades.

Finalment s'ha decantat per unes llantes d'alumini del fabricant DOUGLAS de 5 polzades.

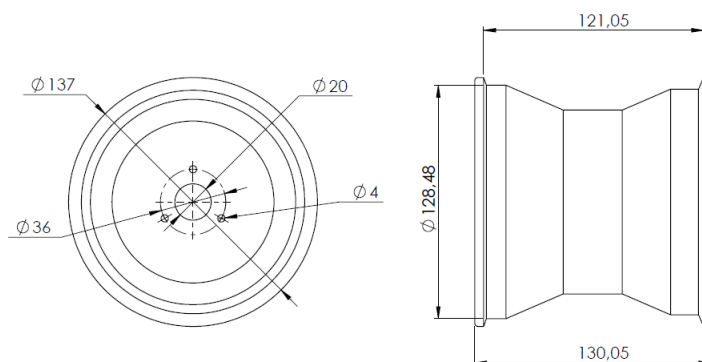


Figura 56. Dimensions de la llanta

CAPÍTOL 5

SIMULACIONS

5.1. Anàlisi de les prestacions

Per tenir una idea de quins son els límits teòrics als que podrà arribar el kart, es fa un petit anàlisi de les prestacions que pot presentar.

5.1.1. Màxima velocitat en pla

El càlcul de la velocitat màxima que serà capaç d'arribar el kart es realitzarà mitjançant dos comprovacions:

- 1) Per condicions de potència del motor i resistència total a l'avanç
- 2) En relació a la cadena de transmissió

5.1.1.1. Màxima velocitat per condicions de potència

HIPÒTESI

- i) Es suposa una circulació per una superfície horitzontal ($\Theta = 0^\circ$)
- ii) La velocitat màxima s'obté per al règim de màxima potència.
- iii) L'acceleració del vehicle és 0 ja que es troba en velocitat constant.

Per determinar la màxima velocitat per condicions de potència s'aplica la segona llei de Newton sobre les rodes motrius:

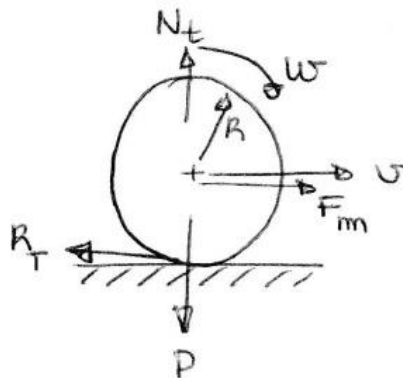


Figura 57. Croquis forces sobre roda motriu

$$\sum F_x = m \cdot a$$

$$F_m - R_T = m \cdot a$$

$$\frac{59\,780}{v} - (0,304683 \cdot v^2 + 28,69425 + 1912,95 \cdot \sin \theta) = m \cdot a$$

Si es substitueixen els valors i s'aïlla la v s'obté:

$$\begin{aligned} \frac{59\,780}{v} - (0,304683 \cdot v^2 + 28,69425 + 1912,95 \cdot \sin 0) &= 195 \, kg \cdot 0 \\ 59\,780 &= v \cdot (0,304683 \cdot v^2 + 28,69425) \\ v_{MAX} = 57,6 \, m/s &\rightarrow \boxed{v_{MAX} = 207,24 \, km/h} \end{aligned}$$

5.1.1.2. Màxima velocitat per condicions de transmissió

La velocitat màxima a la que pot arribar el vehicle segon seva transmissió ve donat per l'expressió:

$$v_{MAX} = \frac{n \cdot 2\pi \cdot R}{r_i \cdot 60}$$

on n són les revolucions a màxima potència del motor.

R és el radi de la roda motriu.

r_i és la relació de transmissió.

Per tant, si es substitueixen els valors s'obté:

$$v_{MAX} = \frac{5000 \, rpm \cdot 2\pi \cdot 0,024535 \, m}{0,5 \cdot 60} = 25,7 \, m/s$$

$$\underline{v_{MAX} = 92,52 \, km/h}$$

Per tant, la transmissió serà l'element que delimiti la velocitat màxima a la que podrà arribar el kart. Per tal d'assegurar que s'arribi a la velocitat màxima desitjada, s'haurà de canviar la relació de transmissió. Per tant, per poder arribar als 130 km/h es tindrà que tenir una relació de transmissió:

$$r_i = \frac{n \cdot 2\pi \cdot R}{v_{MAX} \cdot 60} = \frac{5000 \, rpm \cdot 2\pi \cdot 0,024535 \, m}{36 \frac{m}{s} \cdot 60} \rightarrow \underline{r_i = 0,35685}$$

Com a conseqüència s'haurà de canviar el sproket de l'eix posterior. Aquest haurà de tenir:

$$r_i = \frac{z_{MOTOR}}{z_{EIX}} \rightarrow z_{EIX} = \frac{z_{MOTOR}}{r_i} = \frac{12 \, dents}{0,35685} = 33,6278 \, dents$$

$$\underline{z_{EIX} \approx 34 \, dents}$$

Si es vol mantenir el mateix tipus de sproket, aquest es ven amb un màxim de **30 dents**. Per tant, per aquest cas s'obté una velocitat màxima de:

$$r_i = \frac{Z_{MOTOR}}{Z_{EIX}} = \frac{12}{30} \rightarrow \underline{r_i} = \frac{2}{5} = \underline{0,4}$$

$$v_{MAX} = \frac{5000 \text{ rpm} \cdot 2\pi \cdot 0,024535 \text{ m}}{0,4 \cdot 60} = 32,12 \text{ m/s}$$

$$\boxed{v_{MAX} = 115,62 \text{ km/h}}$$

Per tant, el kart serà capaç d'arribar als 115,62 km/h.

5.1.2. Màxima acceleració

La màxima acceleració per a un vehicle elèctric té un càlcul més simplificat que per al cas dels motors de combustió ja que no requereixen de caixa de canvis i, per tant, tenen només una corba de potència.

L'acceleració es determinarà a partir del temps que trigarà el kart en arribar als 100 km/h en línia recta i sense pendent. Aquest temps ve determinat per l'expressió:

$$dt = \frac{dv}{a} = \gamma_m \cdot m \cdot \frac{dv}{F(v)} \rightarrow t_{acc} = \gamma_m \cdot m \int_0^{27,78} \frac{dv}{F(v)}$$

on γ_m és el factor de masses equivalent que depèn de la relació de transmissió. Per al cas dels motors de combustió, aquesta relació de transmissió s'ha de determinar empíricament per una taula, en canvi per a un motor elèctric sense caixa de canvis la relació de transmissió serà 1.

L'expressió que determina aquest factor és:

$$\gamma_m = 1,04 + 0,0025 \cdot \xi_j^2$$

on ξ_j és la relació de transmissió de la caixa de canvis, que en aquest cas és 1.

Per tant, el factor de masses equivalent per al kart és:

$$\gamma_m = 1,04 + 0,0025 \cdot 1^2 \rightarrow \underline{\gamma_m = 1,0425}$$

$F(v)$ és la funció de la força que haurà de vèncer el vehicle per moure's. En aquest cas ve definida com:

$$F(v) = \sum F_x(v) = F_m(v) - F_R(v)$$

$$F(v) = \left[\frac{59780}{v} \right] - [0,304683 \cdot v^2 + 28,69425 + 1912,95 \cdot \sin \theta]$$

Si es té en compte que es calcularà l'acceleració per a un terreny completament horitzontal, llavors la funció queda:

$$F(v) = \frac{59780}{v} - 0,304683 \cdot v^2 - 28,69425$$

m és la massa del vehicle en kg.

Per tant, el temps que triga el kart en arribar als 100 km/h és de:

$$t_{acc} = 1,0425 \cdot 195 \text{ kg} \int_0^{27,78} \frac{dv}{\frac{59780}{v} - 0,304683 \cdot v^2 - 28,69425}$$

$$t_{acc} = 1,0425 \cdot 195 \cdot 0,0068229 \rightarrow \underline{t_{acc} = 1,387 \text{ s}}$$

Aquest temps és irreal ja que no s'ha tingut en compte la inèrcia dels elements de rodadura que haurà de vèncer en l'acceleració. Per tal de que sigui real se li sumarà 2 segons. Per tant, el temps d'acceleració més pròxim a la realitat és de:

$$\boxed{t_{acc} = 3,387 \text{ s}}$$

Aquest valor està dintre del rang normal per als vehicles elèctrics.

Per saber el valor de l'acceleració màxima, s'aplica la següent fórmula:

$$a_{MAX} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27,78 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{3,387 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{27,78 \text{ m/s}}{3,387 \text{ s}} \rightarrow \boxed{a_{MAX} = 8,2 \text{ m/s}^2}$$

5.1.3. Màxima pendent superable

Per al càlcul de la màxima pendent que pot superar el kart es tindrà en consideració les següents hipòtesis:

HIPÒTESI

- i) S'ascendeix a velocitat constant.
- ii) No es considerarà la resistència aerodinàmica.

Si s'aplica el mateix principi que per al càlcul de la velocitat màxima, s'obté l'expressió:

$$\frac{59780}{v} - (0,304683 \cdot v^2 + 28,69425 + 1912,95 \cdot \sin \theta) = m \cdot a$$

En aquest cas, la resistència aerodinàmica no es tindrà en compte i s'aplicarà l'acceleració màxima calculada en l'apartat anterior a una velocitat constant de 27,78 m/s.

$$\frac{59\,780}{27,78} - (28,69425 + 1912,95 \cdot \sin \theta) = 195 \cdot 8,2$$

$$\sin \theta = \left| \frac{195 \cdot 8,2 - \frac{59\,780}{27,78} + 28,69425}{1912,95} \right| \rightarrow \theta = \arcsin \left(\left| \frac{-524,2134}{1912,95} \right| \right)$$

$$\boxed{\theta \approx 15,9^\circ}$$

5.2. Anàlisi per Elements Finita

És important saber com es comportarà el xassís i saber les deformacions que tindrà. Per aquesta raó s'analitzarà pel mètode d'elements finits el comportament del xassís quan està parat i quan es troba en marxa amb el software de ANSYS.

5.2.1. Anàlisi estàtic

L'anàlisi estàtic contindrà un càlcul dels esforços que es generen en els eixos i les tensions i deformacions que es generen en el xassís a causa d'aquests esforços per quan el kart es troba parat.

5.2.1.1. Càlcul de les reaccions

HIPÒTESI

- iii) La resistència a la rodadura i a l'aerodinàmica es consideren nul·les.
- iv) La força de tracció i força d'inèrcia es consideren nul·les.

Les reaccions que es generen en els eixos venen provocats pel pes total del kart sense tenir en compte el pilot.

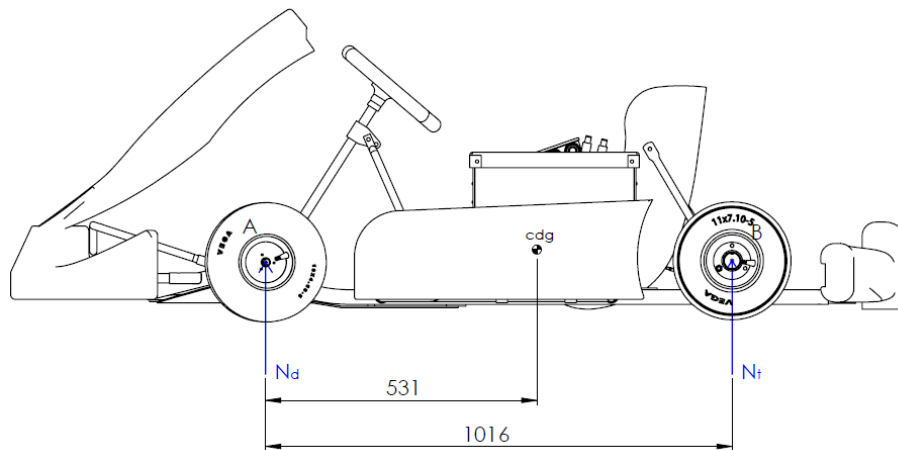


Figura 58. Reaccions als eixos

Si s'aplica sumatori de forces verticals i sumari de moments en l'eix davanter s'obté:

$$P = 135 \text{ kg} \cdot \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1 \text{ kg}} = \underline{1324,35 \text{ N}}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow P - N_d - N_t = 0$$

$$N_d = P - N_t = 1324,35 \text{ N} - 692,15 \text{ N} \rightarrow \boxed{N_d = 632,2 \text{ N}}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -P \cdot d_d + N_t \cdot (d_d + d_t) = 0$$

$$N_t = P \cdot \frac{d_d + d_t}{d_d} = 1324,35 \text{ N} \cdot \frac{531 \text{ mm}}{1016 \text{ mm}} \rightarrow \boxed{N_t = 692,15 \text{ N}}$$

5.2.1.2. Model de simulació

El programa demana restriccions en el model per tal de realitzar el càlcul en l'estructura. Aquestes restriccions seran del tipus fixe i aniran col·locades en els ancoratges de les carrosseries i la columna de direcció. També s'aplicaran les reaccions en els punts del xassís que més a prop estiguin de les rodes.

Amb això s'aconsegueix un model aproximat a la realitat sobre el comportament del xassís.

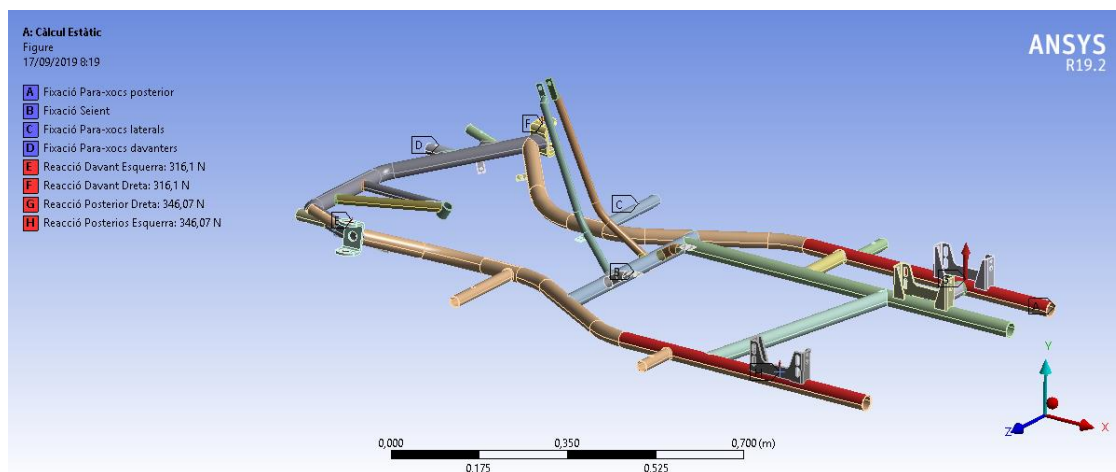


Figura 59. Model de simulació per al càlcul estàtic

5.2.1.3. Resultats

Una vegada realitzat l'anàlisi, s'obté tres factors que cal tenir en compte en el comportament del xassís: la deformació, la tensió equivalent i el factor de seguretat.

La **deformació** servirà per saber si arribarà a tocar el xassís a terra una vegada ja estigui muntat. És important que en aquest moment no es deformi massa.

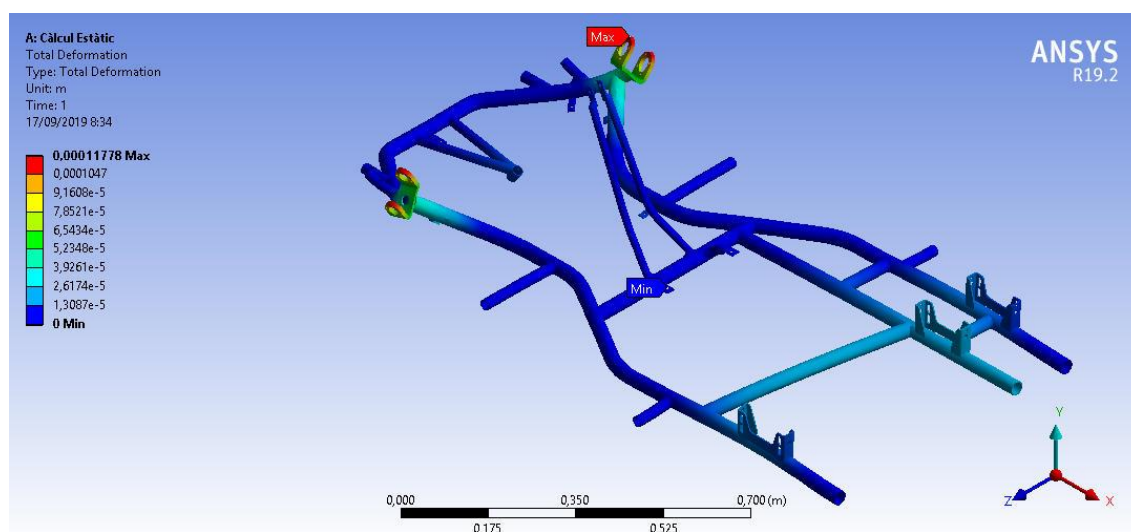


Figura 60. Deformació total del xassís

Es pot comprovar que la part més afectada és on anirà ubicat els pius, és a dir, la part de l'eix davanter. En aquí sofrirà una deformació màxima de 0,11778 mm, la qual cosa és inapreciable a la vista. La deformació total mitja que es pateix en tot el xassís és de 0,019707 mm.

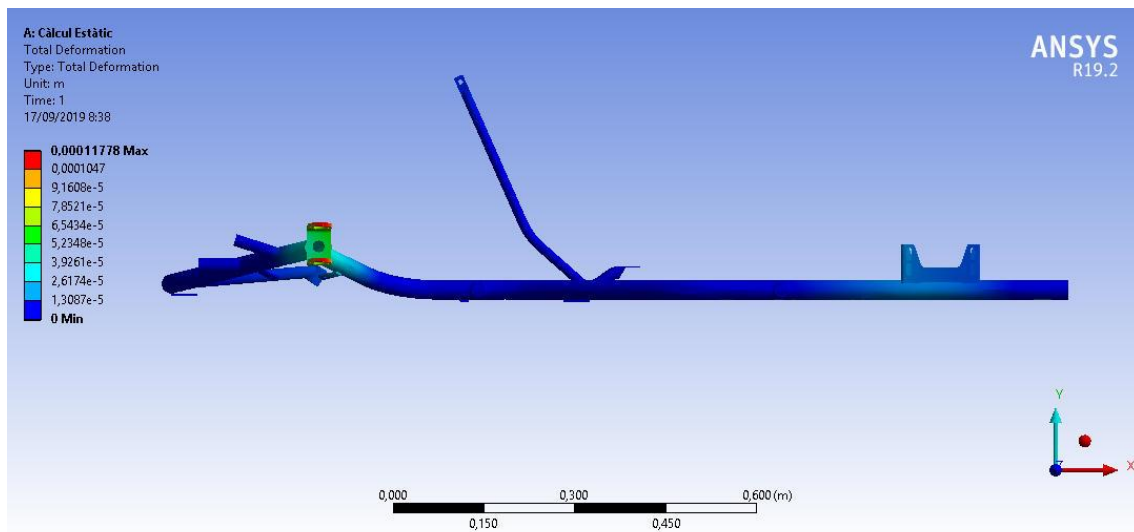


Figura 61. Deformació total del xassís a escala real

Fent una vista lateral del xassís a escala real es pot comprovar com efectivament no existeixen deformacions apreciables a la vista. Per tant, no hi haurà problemes de que es deformi en excés o toqui el terra una vegada muntat tots els components.

Si es focalitza en la zona on més deformació es pateix es pot veure com la part que més es deforma és la unió que es solda al bastidor i que subjecta els pius. Per tant, és una zona crítica que s'haurà de tenir en compte per al factor de seguretat i les tensions equivalents que hi actuen per saber el seu comportament, però és una peça que es pot canviar en cas de ruptura o deformació excessiva.

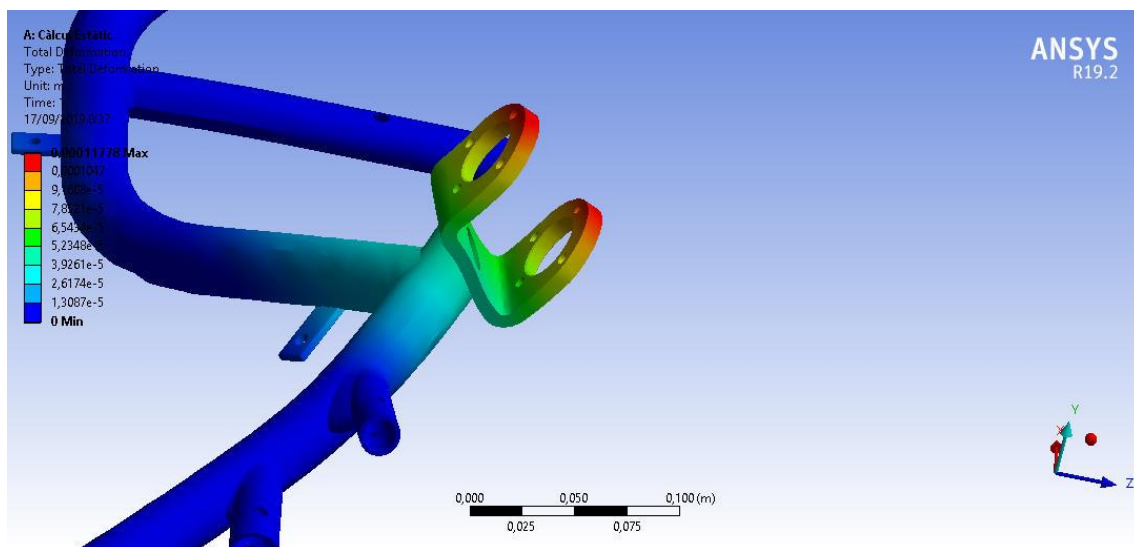


Figura 62. Deformació total en la zona més desfavorable

Pel que fa a les **tensions equivalents** que hi actuen sobre el sòlid, s'han calculat pel mètode de Von Mises. Aquest és el més acurat a la realitat i permet saber si el xassís patirà deformació plàstica o elàstica segons si supera o no el límit elàstic del material.

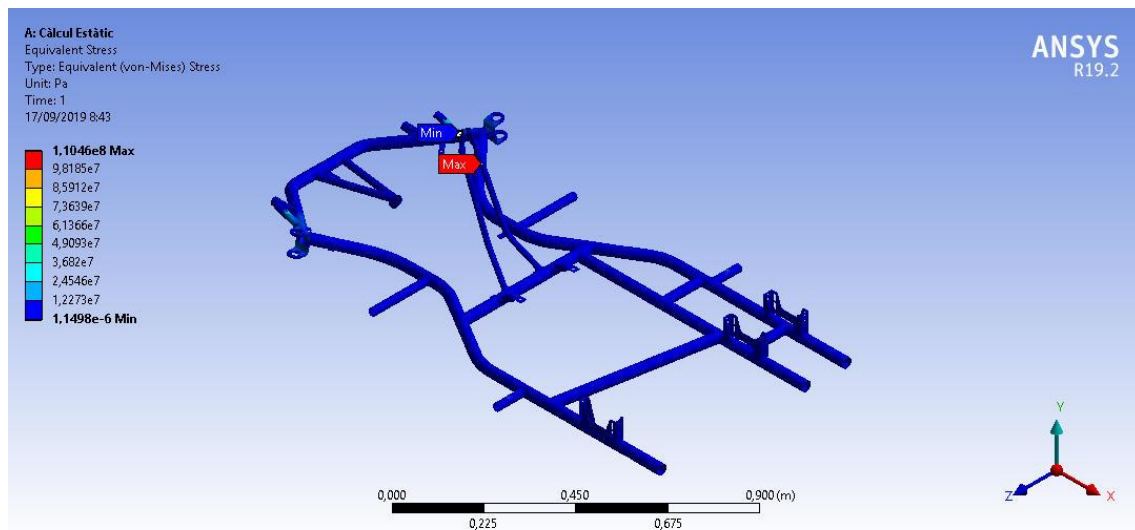


Figura 63. Tensió equivalent en el xassís

En aquest cas s'obté una tensió equivalent màxima de 110,46 MPa, que és molt més petit que el límit elàstic del material, sent aquest de 460 MPa. Per tant, no existirà deformació plàstica.

Si es focalitza en la zona on es dona aquesta tensió màxima es pot veure que es dona en el lloc on va ancorat el para-xocs frontal i en un punt molt específic. Per tant, serà una zona a tenir en consideració però no massa important ja que amb l'estudi de les deformacions s'ha vist que aquesta no és una zona amb molta deformació.

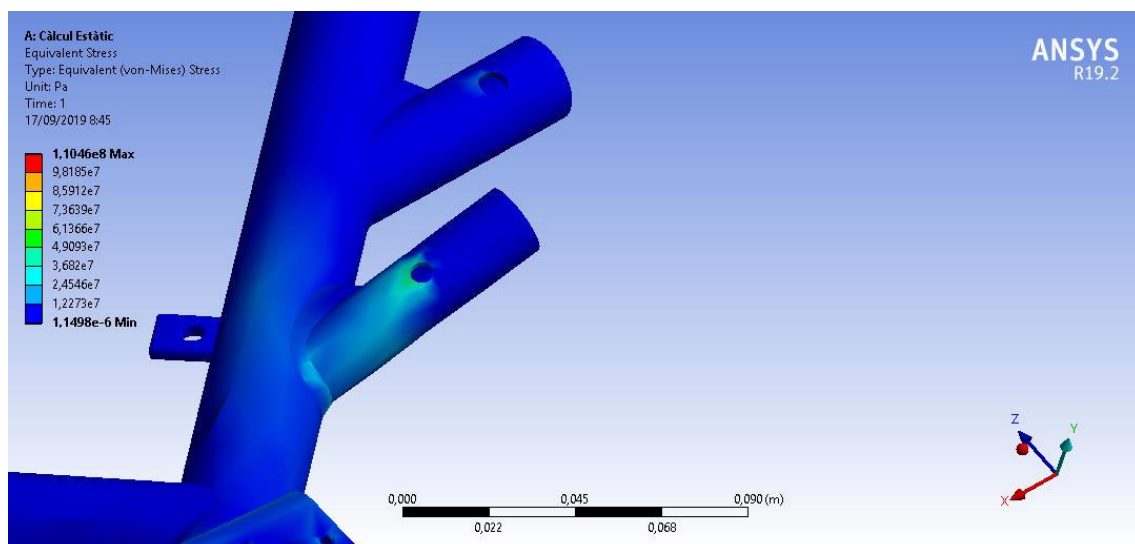


Figura 64. Zona de tensió equivalent màxima

Per comprovar que realment el xassís aguantarà i no sofrirà cap ruptura inesperada, cal observar el **factor de seguretat** mínim i promig amb el que treballarà en aquestes condicions.

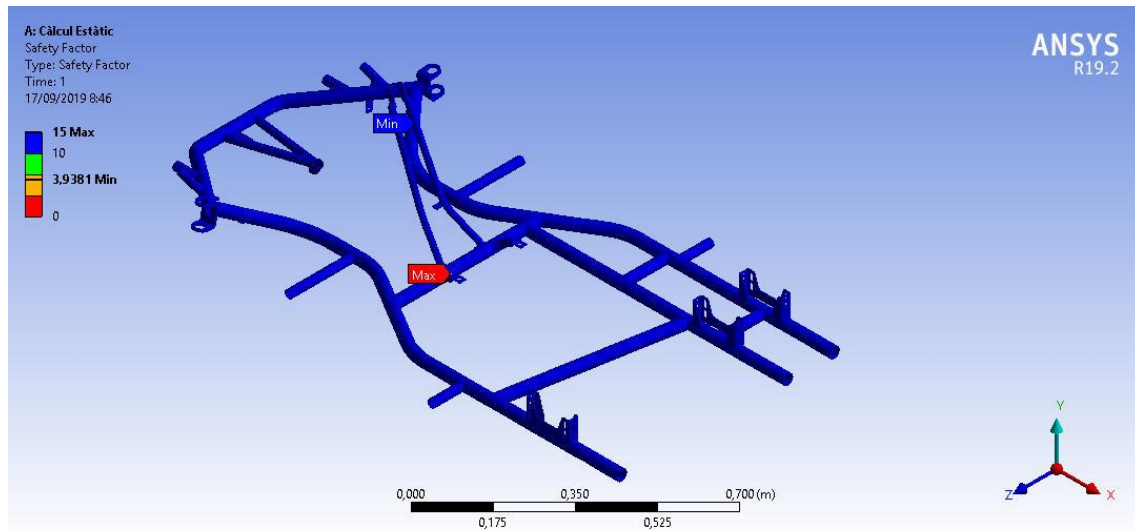


Figura 65. Factor de seguretat en condicions estàtiques

El factor mínim amb el que treballarà el xassís és de 3,9381, és a dir, gairebé 4 vegades per sota del límit. Per tant, no existeix cap risc de ruptura o deformació plàstica, com ja s'ha comprovat abans.

El xassís treballarà de forma global amb un factor de seguretat mig de 14,996, pràcticament al factor de seguretat màxim.

La zona on es dona aquest factor de seguretat mínim és en el mateix punt on es donava la tensió màxima. Per tant, no és una zona en la que s'hagi de donar molta importància, però sí tenir-la en compte.

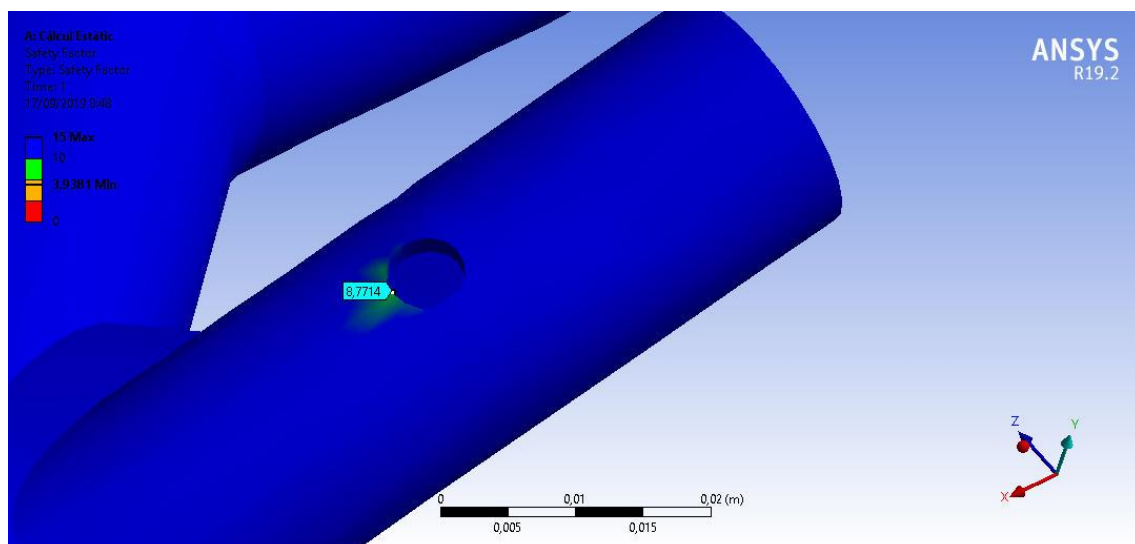


Figura 66. Zona de factor de seguretat mínim.

5.2.2. Anàlisi en ordre de marxa

L'anàlisi en ordre de marxa es realitzarà seguint els mateixos passos que l'estàtic i analitzant els mateixos elements però amb la diferència que ara el model de simulació es farà per quan el kart es troba en moviment.

L'objectiu d'aquest anàlisi és comprovar que el xassís no tocarà a terra quan estigui en marxa el kart ni es flexionarà excessivament.

5.2.2.1. Càlcul de les reaccions

HIPÒTESI

- i) Es tindrà en compte el pes del pilot aproximat de 60 kg repartit en els quatre punts d'ancoratge del seient al xassís.
- ii) Es tindrà en compte el pes del motor en els punts del xassís on més pes haurà de suportar.
- iii) Es tindrà en compte el pes de la bateria en el punt del xassís on més pes suportarà.

La repartició del **pes del pilot** en el seient és del 65% al davant i del 35% al darrere. Si es té en compte la hipòtesi i, s'obté que la reacció causada pel pes del pilot és:

$$P_{PILOT} = 60 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 588,6 \text{ N}$$

$$P_{PILOT,Davant} = 0,65 \cdot 588,6 \text{ N} = \boxed{382,59 \text{ N}}$$

Només es calcula el pes de davant ja que els suports del seient de darrere van cargolats als rodaments. Per tant, només actuen directament sobre el xassís el pes del pilot en els suports de davant.

Pel que fa a la càrrega degut al **pes del motor elèctric** s'obté:

$$P_{MOTOR} = 51,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = \boxed{505,215 \text{ N}}$$

El càlcul per al **pes de la bateria** es realitza de la mateixa manera:

$$P_{BATERIA} = 27,33 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = \boxed{268,11 \text{ N}}$$

També es tindrà en compte el pes de la carrosseria, per tant es té que per cada carrosseria es té:

- Frontal

$$P_{SPOILER} = 1,3 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 12,753 \text{ N}$$

$$P_{PARA-XOCS} = 1,26 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 12,3606 \text{ N}$$

$$P_{FRONTAL} = 1,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 14,715 \text{ N}$$

$$P_{FRONTAL} = \frac{12,753 \text{ N} + 12,3606 \text{ N} + 14,715 \text{ N}}{2} \approx \boxed{20 \text{ N}}$$

Per tant, a cada recolzament de la carrosseria frontal en el xassís s'aplicarà 20 N.

- Laterals

$$P_{LATERAL} = 1,2 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = \underline{11,772 \text{ N}}$$

$$P_{PARA-XOCS} = 1,4 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = \underline{13,734 \text{ N}}$$

$$P_{LATERAL} = \frac{11,772 \text{ N} + 13,734 \text{ N}}{2} \approx \underline{13 \text{ N}}$$

Com en el cas anterior, en cada recolzament de cada costat del xassís s'aplicarà una càrrega de 13 N a causa de la carrosseria lateral.

- Darrere

$$P_{DARRERE} = \frac{1,6 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{2} \approx \underline{8 \text{ N}}$$

5.2.2.2. Model de simulació

Una vegada calculades les reaccions que actuaran sobre el model que simula les càrregues que haurà de suportar el kart quan estigui en marxa, es determina la ubicació de totes elles sobre el xassís.

Per aquest cas, les restriccions es situaran en els punts d'ancoratge dels eixos.

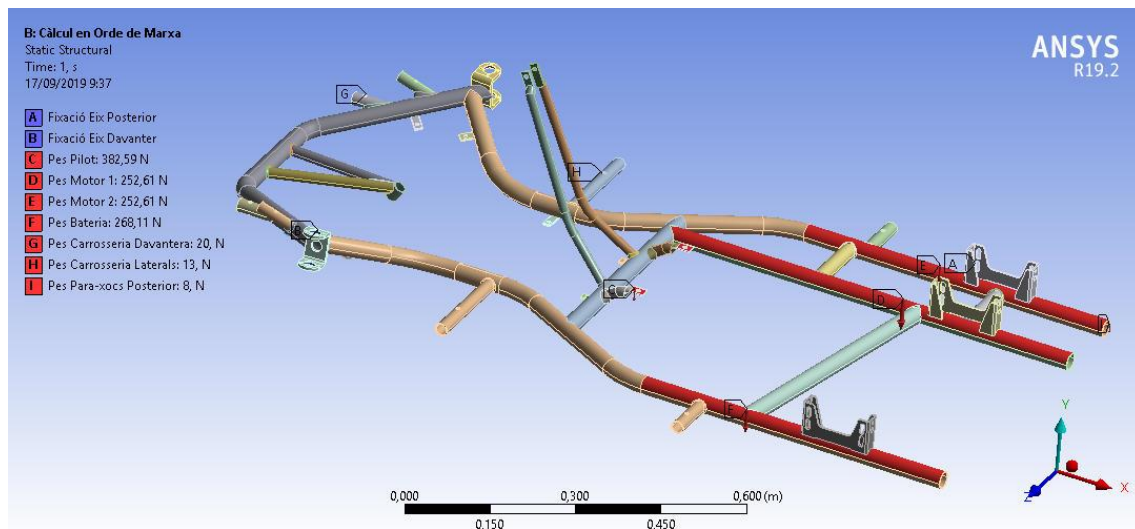


Figura 67. Model de simulació en ordre de marxa

5.2.2.3. Resultats

De la mateixa forma que s'ha fet en l'apartat anterior, una vegada realitzat el càlcul de la deformació total, la tensió equivalent i el factor de seguretat del xassís en règim dinàmic, s'analitza els resultats obtinguts.

La **deformació total** que pateix en aquest cas és major degut a que ara hi actuen moltes més reaccions. Tot i així, la màxima deformació que patirà el xassís és de 0,79388 mm, amb la qual cosa no tocarà a terra mentre estigui en marxa ni tindrà excessiva deformació.

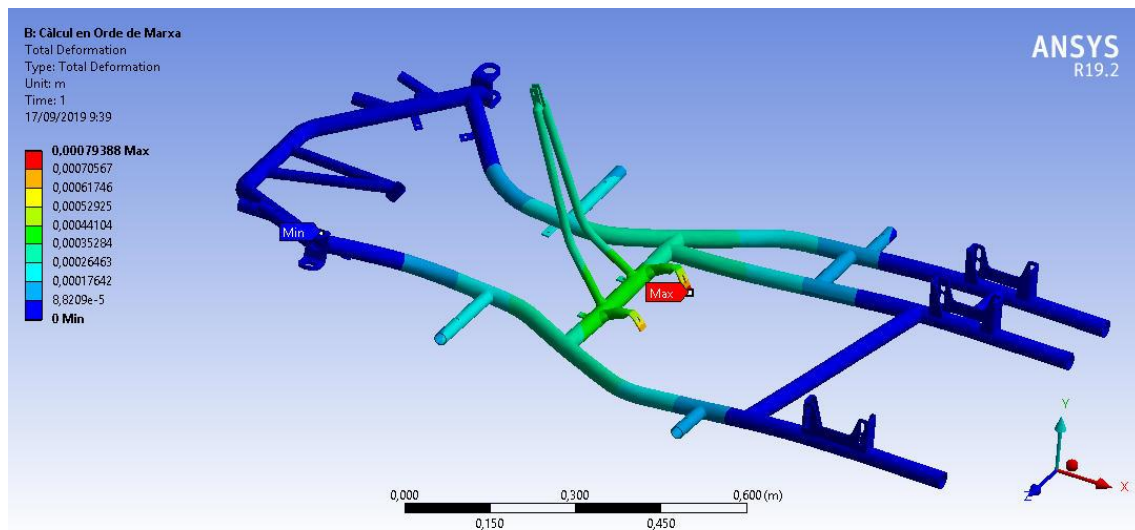


Figura 68. Deformació total del xassís en ordre de marxa

Es pot veure com la zona en més deformació pateix és el centre del xassís. També es pot observar que els recolzaments inferiors del seient seran els punt més sensibles. A més no els dos recolzaments es deformen de la mateixa manera degut a la forma del model, per tant s'haurà de tenir molt en compte aquesta zona per segons que resultats es poden obtenir.

Pel que fa a la **tensió equivalent** per Von Mises, el xassís sofrirà una tensió de 8,3 MPa de mitja. Per tant no es deformarà plàsticament. En canvi el punt mencionat abans sofrirà una tensió màxima de 2185,1 MPa, molt més superior al límit elàstic. Aquest serà un punt per a estudiar amb més deteniment.

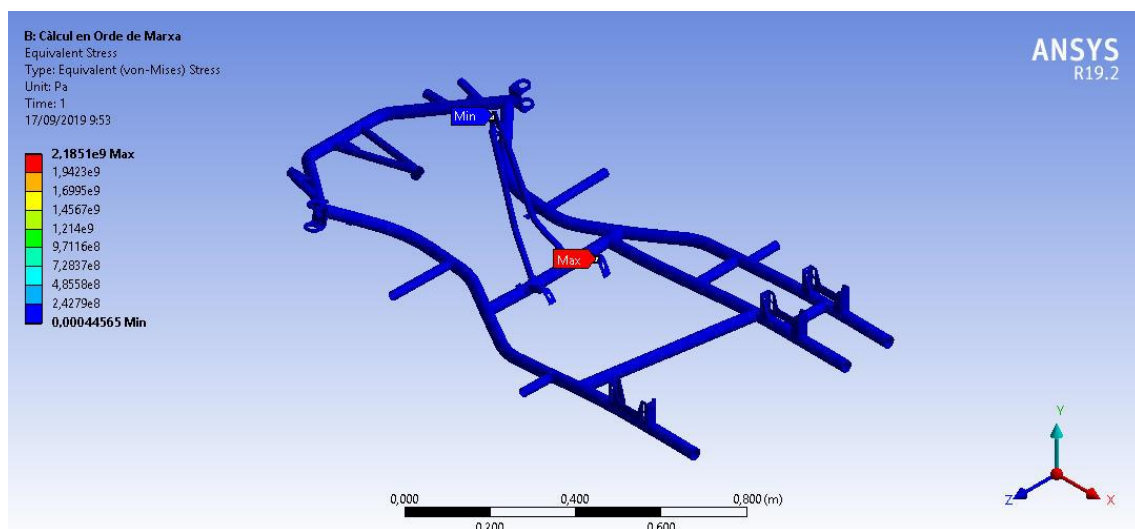


Figura 69. Tensió equivalent per Von Mises

Si ens fixem en la zona on més tensió s'acumula es pot veure el següent.

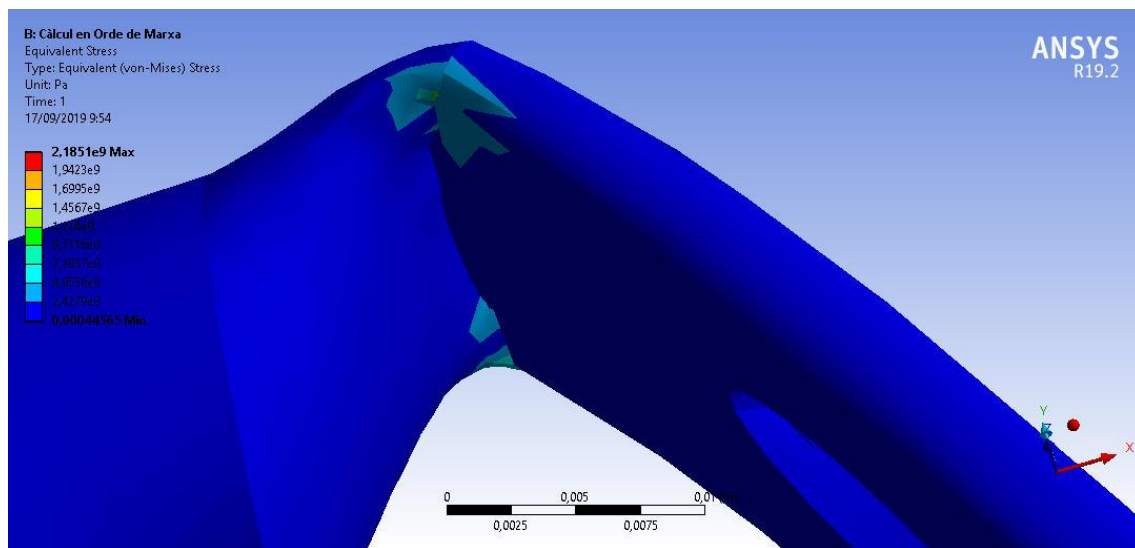


Figura 70. Zona de màxima tensió en ordre de marxa

Com es pot comprovar i tal i com s'ha suposat abans, es dona una tensió massa elevada degut a la forma del model i, per tant no s'ha de tenir en compte aquesta tensió. Així doncs el xassís no sofrirà cap deformació plàstica quan estigui en marxa.

Finalment, el **factor de seguretat** amb el que treballarà el xassís és de 14,393 de mitja. Això indica que no existeix risc de ruptura del mateix. Però es pot observar com el valor mínim torna a aparèixer en la zona on s'ha donat la màxima tensió.

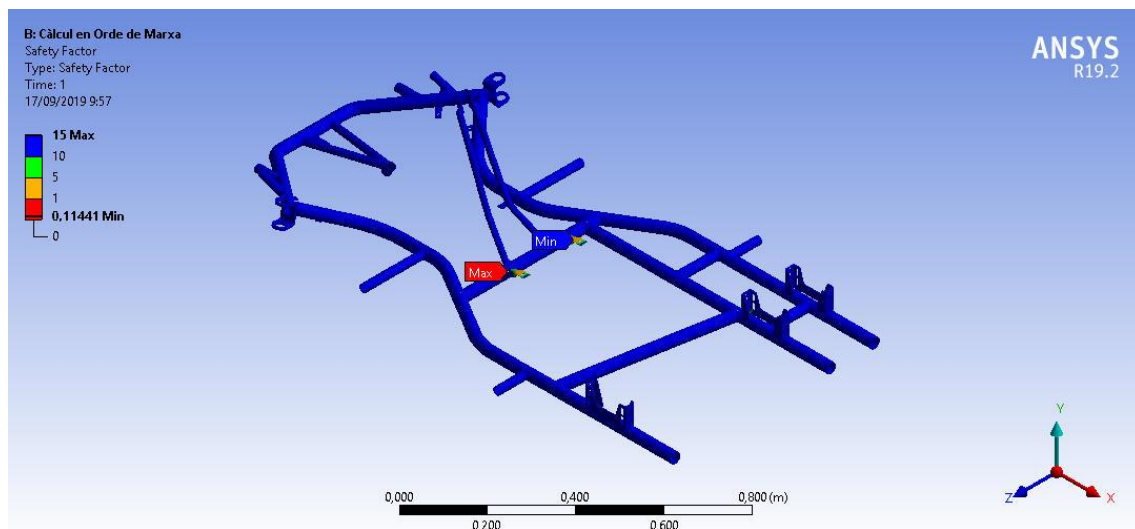


Figura 71. Factor de seguretat en ordre de marxa

Si s'observa amb deteniment la zona amb el mínim factor de seguretat es pot veure com s'obté un valor de 0,79414 en punts molt específics degut a la geometria del model. De la mateixa forma que s'ha comentat abans, són punts que no es tenen en consideració i, per tant, al factor de seguretat que realment

està treballant és a 5,6399. Amb això s'està indicant que no hi ha risc de ruptura de la peça.

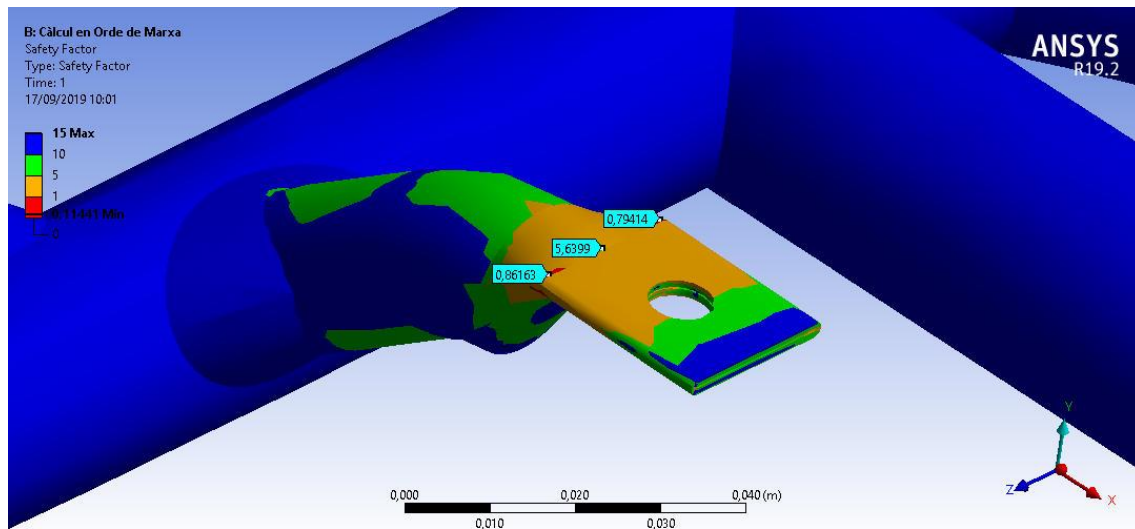


Figura 72. Zona de factor de seguretat mínim

CAPÍTOL 6

MODEL FINAL

Després de comprovar analíticament que s'ha creat un model viable del xassís i que podrà suportar totes les càrregues generades durant les curses, es té que el model final del kart és el següent.

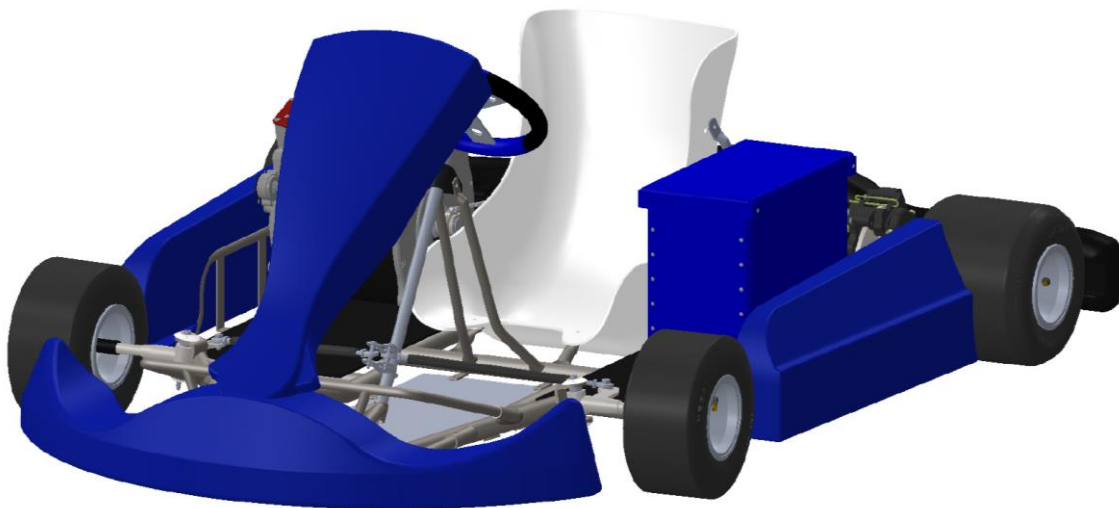


Figura 73. Model 3D del kart

Les seves dimensions principals són les que es poden veure en les següents imatges:

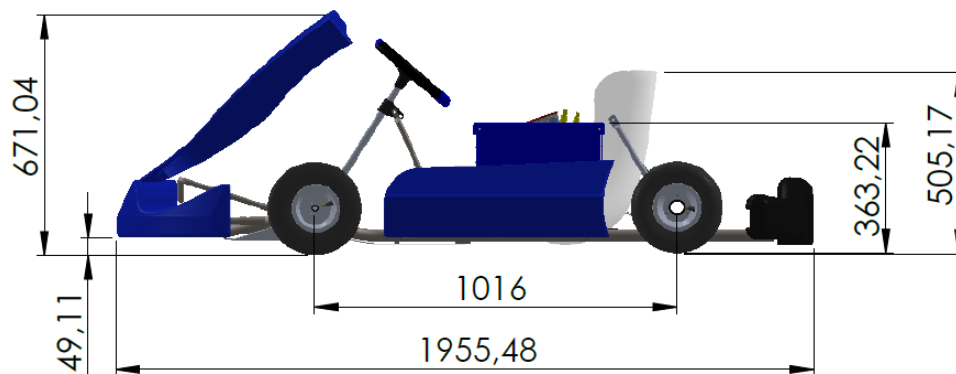


Figura 74. Dimensions principals del kart en perfil

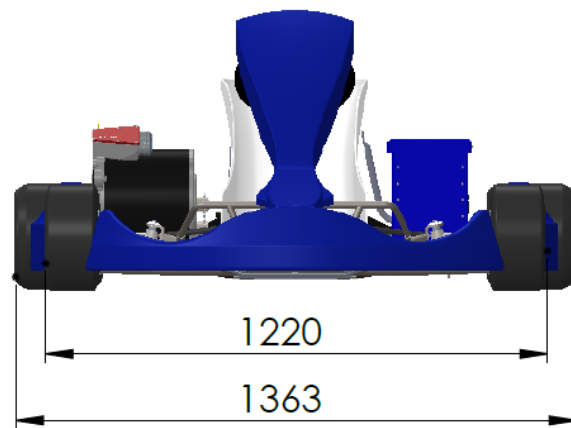


Figura 75. Dimensions principals del kart de front

El disseny final presenta les prestacions vehiculars teòriques següents:

| Propietat | Valor | Unitat |
|--------------------------|-------|--------|
| Pes | 135 | Kg |
| Velocitat màxima | 115 | km/h |
| Acceleració (0 a 100 km) | 3,4 | s |
| Potència màxima | 61 | kW |
| Parell màxim | 220 | Nm |
| Autonomia | 50 | min |

Taula 14. Prestacions vehiculars finals

CAPÍTOL 7

PRESSUPOST

Per a la construcció del kart es presenta un pressupost estimatiu amb els preus de cada component necessari.

La construcció del bastidor la realitzarà l'empresa Curvat S.A. situada al polígon de Martorelles. La pròpia empresa subministra el material. Els preus per aquesta construcció són estimatius i caldria demanar un pressupost més acurat.

El preu final al que arriba el **xassís** és de 256,20€, més car que si es comprés el xassís de segona mà sense equipar.

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|---------------|-----------------------------|------------|------------------|----------|--------|-----------------|
| XASSÍS | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 256,20 € |
| | Tubs acer AISI 4130 (€/kg) | - | Curvat S.A. | 3,40 € | 10 | 34,00 € |
| | Tall tubs per làser (€/min) | - | Curvat S.A. | 1,00 € | 60 | 60,00 € |
| | Soldadura (€/h) | - | Curvat S.A. | 20,00 € | 1,5 | 30,00 € |
| | Suport piu | KT008 | Righetti Ridolfi | 48,91 € | 2 | 97,82 € |
| | Suport porta-rodament | KT002 | Righetti Ridolfi | 11,46 € | 3 | 34,38 € |

Taula 15. Pressupost desglossat - Xassís

Pel que fa a la **carrosseria**, només caldrà fabricar pels nostres medis la safata per als peus. El preu final al que s'arriba per tota la carrosseria és de 317,48€.

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|--------------------|----------------------------------|------------|------------------|----------|--------|-----------------|
| CARROSSERIA | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 317,48 € |
| | Para-xocs davanter superior | KA636 | Righetti Ridolfi | 20,57 € | 1 | 20,57 € |
| | Para-xocs davanter inferior | KA640 | Righetti Ridolfi | 14,52 € | 1 | 14,52 € |
| | Para-xocs lateral (2 unitats) | KA630 | Righetti Ridolfi | 72,60 € | 1 | 72,60 € |
| | Spoiler color BLAU | KA680BL | Righetti Ridolfi | 47,19 € | 1 | 47,19 € |
| | Frontal color BLAU | KA685BL | Righetti Ridolfi | 18,15 € | 1 | 18,15 € |
| | Pontons color BLAU (2 unitats) | KA600BL | Righetti Ridolfi | 54,45 € | 1 | 54,45 € |
| | Para-xocs posterior color NEGRE | KA620N | Righetti Ridolfi | 50,00 € | 1 | 50,00 € |
| | Kit muntatge para-xocs posterior | KA625 | Righetti Ridolfi | 40,00 € | 1 | 40,00 € |
| | Xapa Alumini rugosa 1000x600 | 10256533 | Bricomart | 35,75 € | 1 | 35,75 € |

Taula 16. Pressupost desglossat - Carrosseria

El desglossament del **sistema de direcció** només contempla els elements principals, és a dir, tot el que pertany a la cargoleria no s'ha tingut en compte en aquest desglossament. El preu final del sistema de direcció arriba fins als 257,45€.

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|----------------------------|--|-----------------|------------------|----------|--------|-----------------|
| SISTEMA DE DIRECCIÓ | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 257,45 € |
| | Boixa davantera Ø17xL75mm NEGRE | K991/N | Righetti Ridolfi | 26,00 € | 2 | 52,00 € |
| | Columna de direcció M8 L510mm | KP100B | Righetti Ridolfi | 14,90 € | 1 | 14,90 € |
| | Boixa volant inclinat 8º ALUMINI NEGRE | K351N | Righetti Ridolfi | 18,76 € | 1 | 18,76 € |
| | Volant Ø300mm PELL BLAU/NEGRE | K108A-BN | Righetti Ridolfi | 74,90 € | 1 | 74,90 € |
| | Suport columna Ø20 doble taladre 8mm | K016AN | Righetti Ridolfi | 2,89 € | 1 | 2,89 € |
| | Piu direcció dreta Ø17mm LLARGA | KF17ST105DX175C | Righetti Ridolfi | 31,00 € | 1 | 31,00 € |
| | Piu direcció esquerra Ø17mm LLARGA | KF17ST105SX175C | Righetti Ridolfi | 31,00 € | 1 | 31,00 € |
| | Vareta de direcció M8x285 HEX. ALUMINI NEGRE | KT055N | Righetti Ridolfi | 6,20 € | 2 | 12,40 € |
| | Ròtula direcció DRETA M8 | K329E | Righetti Ridolfi | 4,90 € | 2 | 9,80 € |
| | Ròtula direcció ESQUERRA M8 | K330E | Righetti Ridolfi | 4,90 € | 2 | 9,80 € |

Taula 17. Pressupost desglossat - Sistema de direcció

Per al pressupost del sistema d'unitat de potència s'ha desglossat en tres parts: eix posterior, unitat de potència i sistema de frenada. El pressupost de l'eix posterior arriba als 293,90€ i contempla els següent elements:

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|----------------------|---------------------------------------|------------|------------------|----------|--------|-----------------|
| EIX POSTERIOR | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 293,90 € |
| | Eix posterior Ø40x1040mm Duresa MIG | KD120-M2 | Righetti Ridolfi | 53,00 € | 1 | 53,00 € |
| | Xaveta 3 punts Ø7,5xH4mm ENT.15 mm | K959 | Righetti Ridolfi | 4,50 € | 2 | 9,00 € |
| | Rodament RHP Ø80mm (HQ) | K244B | Righetti Ridolfi | 29,00 € | 3 | 87,00 € |
| | Porta-rodament 40/50mm (Ø80mm) 4P | K254N | Righetti Ridolfi | 22,00 € | 3 | 66,00 € |
| | Boixa Alumini Ø40xL77mm C8 | K712N | Righetti Ridolfi | 23,95 € | 2 | 47,90 € |
| | Porta-disc de frè Ø30mm CLS | K606DN | Righetti Ridolfi | 31,00 € | 1 | 31,00 € |

Taula 18. Pressupost desglossat - Eix posterior

Pel que fa a la **unitat de potència**, s'haurà d'invertir uns 10.047,14€ a causa de l'electrònica referent al motor i les bateries. Com en el cas de la safata, la caixa on anirà ubicades les cel·les i el BMS es fabricarà a partir de xapa d'acer.

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|------------|--------|--------------------|
| UNITAT DE POTÈNCIA | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 10.047,14 € |
| | Motor elèctric 400V | HSM1-6.17.12 | BRUSA | 2.290,00 € | 1 | 2.290,00 € |
| | Inverter 400V/100kW | DMC524 | BRUSA | 1.920,00 € | 1 | 1.920,00 € |
| | DC/DC Converter - 400V | BSC624 | BRUSA | 1.490,00 € | 1 | 1.490,00 € |
| | Cel·la LiPo 3,7V 21Ah 5C | SLPB8498220 | Melasta | 62,23 € | 30 | 1.866,90 € |
| | BMS 16 Inputs | 460-BMS-16LI-12T | Alpha3 | 1.121,90 € | 2 | 2.243,80 € |
| | Pedal 0-5K Ohm amb potenciómetre | - | Electric Motorsport | 114,12 € | 1 | 114,12 € |
| | Xapa acer brut 1000x600 | 10259886 | Bricomart | 21,20 € | 2 | 42,40 € |
| | Pinyó z12 1/2' Forat 22m (428) | KM219 | Righetti Ridolfi | 14,52 € | 1 | 14,52 € |
| | Corona acer 30T Ø40mm (428) | K420-30 | Righetti Ridolfi | 25,50 € | 1 | 25,50 € |
| | Cadena 428 Alta qualitat 58 pasos | KC548 | Righetti Ridolfi | 39,90 € | 1 | 39,90 € |

Taula 19. Pressupost desglossat - Unitat de potència

El **sistema de frenada**, tal i com s'ha mencionat en l'apartat pertinent, es comprarà en forma de kit ja que és molt més econòmic i porta tots els components necessaris, a més de les instruccions de com s'ha d'instal·lar. El pressupost per aquesta part és de 665,00€.

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|-------------------------|--------------------------------------|------------|------------------|----------|--------|-----------------|
| SISTEMA DE FRENS | | | | | | TOTAL |
| | | | | | | 665,00 € |
| | Sistema de frenada Darrere COMPLET | KB122S | Righetti Ridolfi | 148,50 € | 1 | 148,50 € |
| | Sistema de frenada Davantera COMPLET | KB180N | Righetti Ridolfi | 500,00 € | 1 | 500,00 € |
| | Suport pinça frè | KB011-B | Righetti Ridolfi | 16,50 € | 1 | 16,50 € |
| | Pedal frè | K104 | Righetti Ridolfi | 18,00 € | 1 | 18,00 € |

Taula 20. Pressupost desglossat - Sistema de frenada

Tots els components que són de tipus cargoleria, és a dir, que es poden comprar en una ferreteria sense la necessitat de que siguin especialitzats en competició,

s'han agrupat dintre d'**altres**. En aquí també s'han introduït els neumàtics, les llantes, el seient i tot el necessari per fixar aquest, sumant un cost de 464,52€.

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|---------------|--------------------------------------|----------------|------------------|----------|--------------|-----------------|
| ALTRES | | | | | TOTAL | 464,52 € |
| | Set 4 neumàtics XH2 | VE-VERDE | VEGA | 178,00 € | 1 | 178,00 € |
| | Set 2 llantes 130 Alumini davanteres | KC79AL130-58VS | DOUGLAS | 54,50 € | 1 | 54,50 € |
| | Set 2 llantes 180 Alumini posteriors | KC79AL180-58VS | DOUGLAS | 59,50 € | 1 | 59,50 € |
| | Seient Talla L | KS301T-3S | Righetti Ridolfi | 47,07 € | 1 | 47,07 € |
| | Kit proteccions seient 5 peces | K1500 | Righetti Ridolfi | 28,51 € | 1 | 28,51 € |
| | Tirant rodó regulable corva 90mm | K148-C4 | Righetti Ridolfi | 24,79 € | 1 | 24,79 € |
| | Tirant recte suport seient | K146/400 | Righetti Ridolfi | 4,50 € | 1 | 4,50 € |
| | Plaqueta suport seient | K149A | Righetti Ridolfi | 4,30 € | 2 | 8,60 € |
| | Ròtula columna direcció M8x22x9mm | K537 | Righetti Ridolfi | 7,35 € | 1 | 7,35 € |
| | Arandela M8x32mm | ARD8x32 | Righetti Ridolfi | 0,15 € | 50 | 7,50 € |
| | Cargol piu M8xL72+18mm | K440-M08-090 | Righetti Ridolfi | 3,90 € | 2 | 7,80 € |
| | Femella autoblocant M14 | TRCM14A | Righetti Ridolfi | 0,40 € | 10 | 4,00 € |
| | Femella autoblocant M8 | TRCM8A | Righetti Ridolfi | 0,12 € | 30 | 3,60 € |
| | Separador piu 17x8mm RESINA | K022N | Righetti Ridolfi | 0,45 € | 4 | 1,80 € |
| | Anell centrador caixa Ø40mm | K703-ANP | Righetti Ridolfi | 3,00 € | 2 | 6,00 € |
| | Arandela bola nivelació piu Ø8x8mm | K948-D08-08 | Righetti Ridolfi | 4,50 € | 4 | 18,00 € |
| | Anell seguretat columna direcció | K312S | Righetti Ridolfi | 2,50 € | 1 | 2,50 € |
| | SEEGER columna direcció | K543 | Righetti Ridolfi | 0,50 € | 1 | 0,50 € |

Taula 21. Pressupost desglossat - Altres

A més dels components, també s'ha tingut en compte el preu d'enginyeria dintre del projecte per poder portar-lo a terme. Els preus s'han tingut en compte per a un enginyer júnior. El **cost d'enginyeria** és de 13.050,00€.

| ID | DESCRIPCIÓ | REFERÈNCIA | FABRICANT | PREU UN. | QUANT. | PREU |
|-------------------|----------------------|------------|-----------|----------|--------------|--------------------|
| ENGINYERIA | | | | | TOTAL | 13.050,00 € |
| | Disseny del projecte | - | - | 30,00 € | 100 | 3.000,00 € |
| | Modelatge 3D | - | - | 35,00 € | 250 | 8.750,00 € |
| | Simulacions | - | - | 40,00 € | 10 | 400,00 € |
| | Redacció memòria | - | - | 30,00 € | 30 | 900,00 € |

Taula 22. Pressupost desglossat - Enginyeria

Per tant, el **cost del projecte** ascendeix fins als 25.351,69€.

| DESCRIPCIÓ | | PREU |
|-----------------|--------------|--------------------|
| COMPONENTS | | 12.301,69 € |
| ENGINYERIA | | 13.050,00 € |
| PROJECTE | TOTAL | 25.351,69 € |

Taula 23. Pressupost total

CAPÍTOL 8

MEDI AMBIENT

És important tenir en compte l'impacte al medi ambient que podrà generar la realització del projecte ja que una de les raons de l'elecció de la competició elèctrica de karts és poder reduir aquest impacte.

Els karts convencionals utilitzen motors de combustió interna que funcionen per gasolina. Aquest combustible té un impacte molt negatiu en l'atmosfera, emeten alts nivells de CO₂, òxid de nitrogen, CO i molècules d'hidrocarburs que no arriben a cremar-se. Aquests elements actuen directament en la contaminació atmosfèrica i afavoreixen a l'efecte hivernacle.

A més de la contaminació atmosfèrica els karts convencionals també emeten contaminació acústica. Tot i que aquesta no és massa perjudicial perquè els circuits per als karts o kartòdroms es troben a les afores de les ciutats i en llocs aïllats, és un factor a tenir en compte.

Amb els karts elèctrics s'aconsegueix és reduir al 0 la contaminació atmosfèrica ja que els motors elèctric no emeten cap gas tòxic. També s'aconsegueix reduir la contaminació acústica perquè aquest tipus de motor no generen soroll. Per tant, pel que fa a l'ús d'aquests vehicles, s'aconsegueix reduir l'impacte medi-ambiental pràcticament al 100%.

Les cel·les de les bateries són elements a considerar per al medi ambient ja que solen ser de composicions químiques que, si no es tracten com toca, poden ser contaminants. L'ús de bateries de LiPo són més segures en cas d'impacte a conseqüència de la utilització del Liti en forma de gel fent que es minimitzin els riscos de fuga d'aquest. És important que alhora de canviar les cel·les de la bateria, les reemplaçades no es llencin al container o en el mateix lloc on es rebutgen les piles sinó que és altament recomanable retornar les cel·les al fabricant ja que saben com manipular el tipus de química que porten.

Altres factors que s'han de tenir en compte per al medi ambient és el tipus de materials que s'utilitzen i l'origen de l'energia per carregar les bateries, però aquests són factor que depenen del circuit en el cas de l'energia, i dels fabricant

per al cas dels components. Per tant, serà responsabilitat del constructor del kart escollir materials reciclats i/o reciclar aquells components que no es puguin tornar a utilitzar.

CAPÍTOL 9

CONCLUSIONS

Al llarg del desenvolupament del projecte s'han assolit els objectius personals respecte al coneixement que es volia aconseguir sobre la construcció de vehicles elèctrics, el seu funcionament i el món de la competició.

Per un altra banda, el balanç sobre els objectius establerts sobre el disseny del kart es presenta en la següent taula:

| Propietat | Valor Objectiu | Valor Obtingut | Unitat | Balanç |
|--------------------------|----------------|----------------|--------|--------|
| Pes | 180 | 135 | Kg | ↓ ● |
| Velocitat màxima | 130 | 115 | km/h | ↓ ● |
| Acceleració (0 a 100 km) | 5 | 3,4 | s | ↓ ● |
| Potència màxima | 30 | 61 | kW | ↑ ● |
| Autonomia | 40 | 50 | min | ↑ ● |
| Preu | 15.000,00 | 12.301,69 | € | ↓ ● |

Taula 24. Balanç dels objectius

Com es pot comprovar, els únics objectius que no s'han pogut assolir són el de la màxima velocitat i la màxima potència, tots dos relacionats. En canvi s'ha pogut millorar en la resta dels objectius establerts, essent el pes el que més ha millorat.

També cal incloure els objectius referents a l'estudi realitzat per elements finits sobre el xassís. Tot i no haver pogut realitzar tots els anàlisis que s'hagués volgut, els realitzats han sortit positivament ja que asseguren que no existeix risc de ruptura i per tant, afirmen que és un bon disseny de xassís.

Com a conclusió final, el projecte ha resultat ser tot un repte partint de que abans de començar el treball no es tenia cap coneixement de com construir un kart però si dels elements principals que els englobava. També ha resultat difícil trobar tota la normativa en referència a competicions amb vehicles elèctrics i informació respecte d'aquestes ja que es un sector que encara no té gaire visibilitat.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Resistencia aerodinamica” [Online]. Available: <http://fisicaleyesdenewton-aby.blogspot.com/p/resistencia-aerodinamica.html>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [2] “16 Inputs BMS For Lithium Batteries With Current Measurement” [Online]. Available: <https://www.kit-elec-shop.com/gb/bms/2450-16-inputs-bms-for-lithium-batteries-with-current-measurement.html>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [3] Melasta. “High Capacity battery” [Online]. Available: <http://www.melastabattery.com/sale-8068541-3-7v-21ah-5c-high-drain-electric-car-lithium-ion-polymer-battery-77-7wh-105a-drain.html>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [4] Electric Motor Sport. “Foot Pedal Throttle 0-5K Ohm Potentiometer” [Online]. Available: <https://www.electricmotorsport.com/ev-parts/throttles/foot-pedal-throttle-0-5k-ohm-curtis-fp-6-style.html>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [5] Rodríguez Galbarro, Hermenegildo. “Transmisión por Cadenas: Cálculo y diseño” [Online]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [6] Righetti Ridolfi Spa. [Online]. Available: <https://www.righettiridolfi.com/en>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [7] Duplicoder, S.L.. [Online]. Available: <https://www.todoparakarting.com>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [8] KPS Racing. [Online]. Available: <https://kpsracing.es/>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [9] KartStore S.r.l.. [Online]. Available: <https://www.kartstore.it/index.php?lang=en-gb>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [10] MatWeb. “AISI 4130 Steel, normalized at 870°C” [Online]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e1cceb90cf94502b35c2a4745f63593&ckck=1>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [11] BRUSA. “Motor 400V” [Online]. Available: <https://www.brusa.biz/en/products/drive/motor-400-v/hsm1-61712.html>. [Last accessed: 26-Set.-2019]
- [12] Wikipedia. [Online] Available: <https://www.wikipedia.org/>. [Last accessed: 26-Set.-2019]

[13] NovaEnergia. "Veículo Eléctrico Único (VEU)" [Foro]. Available: <https://www.novaenergia.net/forum/viewtopic.php?t=8801&start=40>. [Last accessed: 26-Set.-2019]

[14] Universidad Carlos III de Madrid. "Prestaciones en vehículos". [Document] Link de descarga: <http://ocw.uc3m.es/cursos-archivados/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-didactico/prestaciones.pdf/view>.

[15] FIA. "Technical Regulations for Electric Karts (E-Karting)". [Document] Link de descarga: <https://www.fia.com/regulation/category/99>.

[16] RFEdA. "Reglamento Técnico específico JUNIOR 2019". [Document] Link de descarga: <https://www.rfeda.es/documents/20185/988862/CEK+2019+RT+Junior.pdf>.

A3. CÀLCULS

A3.1. Resistència al moviment

Existeixen tres tipus de resistències que afecten a l'avanç del vehicle:

- Resistència aerodinàmica (R_a)
- Resistència a la rodadura (R_R)
- Resistència gravitatòria (R_g)

El sumatori de totes aquestes serà la resistència total que afecta al vehicle.

$$R_T = R_a + R_R + R_g$$

La **resistència aerodinàmica** es genera degut al desplaçament per un medi fluid, com és el cas de l'aire. Aquesta depèn del flux exterior del vehicle i de la circulació de l'aire per l'interior i es genera a causa del fregament i la resistència a la pressió de l'aire.

Per tant, la resistència aerodinàmica es pot definir com:

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot v^2$$

on:

ρ és la densitat de l'aire. Per aquest s'agafarà el valor en condicions normals (25 °C i 1 atm), que és de 1,225 kg/m³.

C_x és el coeficient aerodinàmic. Aquest depèn de la forma del vehicle. Si ens fixem lateralment, té una forma de cub inclinat i un hexàgon. A partir de la taula s'obté que en aquest cas té un valor de:

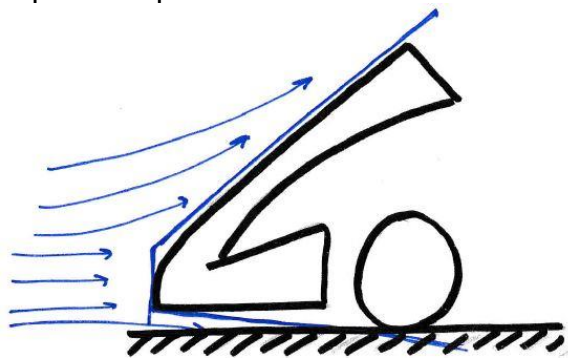






Figura 76. Perfil kart amb flux aerodinàmic

| Type of Body | | Drag Coefficient C_x |
|--------------|---|---------------------------|
| Cube |  | 1,05 |
| |  | 0,8 |
| Hexagon |  | 1,00 |
| |  | 0,70 |

Taula 25. Valors dels coeficients aerodinàmics

$$C_x = \frac{0,8 + 0,7}{2} \rightarrow \underline{C_x = 0,75}$$

A_f és l'àrea frontal efectiva, que es calcularà en funció de les dimensions del vehicle.

$$A_f = f \cdot b \cdot h$$

on f és un factor de reducció, normalment situat entre 0,8 i 0,85. En aquest cas s'agafarà el valor de 0,8.

Per tant, l'àrea frontal efectiva del kart és de

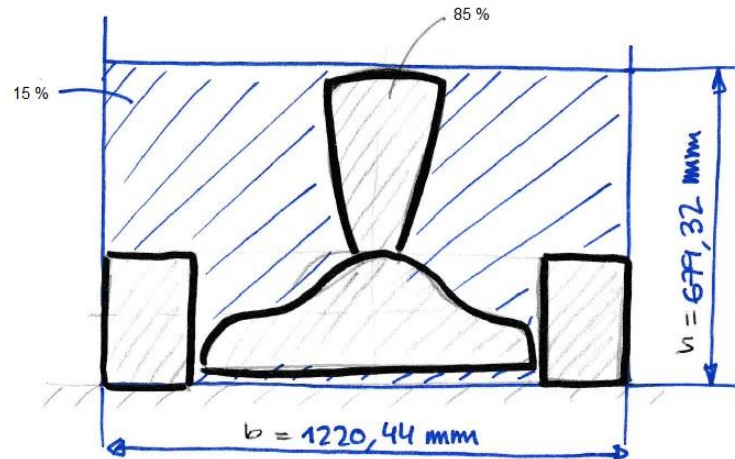


Figura 77. Àrea frontal efectiva

$$A_f = 0,8 \cdot 1,22044 \text{ m} \cdot 0,67932 \text{ m} \rightarrow \underline{A_f = 0,663255 \text{ m}^2}$$

v és la velocitat d'avanç del vehicle.

La **resistència a la rodadura** es deu a la deformació del neumàtic quan roda sobre una superfície dura a causa de la càrrega vertical que actua sobre aquest. Aquesta dependrà d'uns coeficients empírics en funció del tipus de neumàtic, la pista i el pes del vehicle.

Per tant, la resistència a la rodadura d'un vehicle queda definida com:

$$R_R = (f_o + f_v \cdot V^n) \cdot P \rightarrow \boxed{R_R = f_r \cdot P}$$

on:

f_r és el coeficient de rodadura i depèn del tipus de vehicle i la superfície per on circularà. Aquest valor es troba tabulat segons les següents condicions i s'aplicarà el valor per a un turisme en asfalt.

| TIPUS VEHICLE | SUPERFICIE | | |
|---------------|------------|--------------|-------|
| | Asfalt | Duresa mitja | Sorra |
| Turisme | 0,015 | 0,08 | 0,3 |
| Camions | 0,012 | 0,06 | 0,25 |
| Tractors | 0,02 | 0,04 | 0,2 |

Taula 26. Valors del coeficient de rodadura

P és el pes total en condicions de marxa del vehicle en N . Aquest agafa el valor de:

$$P = 195 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ kg/s}^2 \rightarrow \underline{P = 1912,95 \text{ N}}$$

La **resistència gravitatòria** en genera degut al pes del vehicle que s'oposa al moviment quan aquest ha de superar una pendent. Amb la qual cosa, es pot definir com:

$$R_g = P \cdot \sin \theta$$

on:

P és el pes del vehicle en ordre de marxa en N .

θ és l'angle de la pendent a superar respecte una superfície horitzontal. En cas de que aquest valor sigui negatiu significa que és una pendent cap avall i, per tant, propulsa al cotxe.

Si es sumen totes les resistències i es substitueixen els valors deixant l'expressió en funció de la velocitat i l'angle queda:

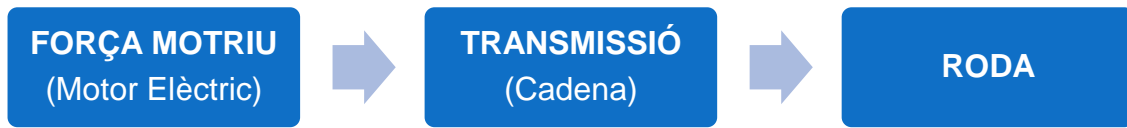
$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot v^2 + f_r \cdot P + P \cdot \sin \theta$$

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,75 \cdot 0,663255 \text{ m}^2 \cdot v^2 + 0,015 \cdot 1912,95 \text{ N} + 1912,95 \text{ N} \cdot \sin \theta$$

$$\underline{R_T = 0,304683 \cdot v^2 + 28,69425 + 1912,95 \cdot \sin \theta}$$

A3.2. Rendiment de la transmissió

El procés de transmissió que es dona en el kart és:



Al tractar-se d'un kart elèctric aquest no requereix d'embragatge ni de caixa de canvis ja que es controla tot electrònicament. Això es tradueix en una avantatge enfront als karts tradicionals de combustió en la millora del rendiment de la transmissió de la potència del motor cap a l'eix motriu.

Per tant, el rendiment de la transmissió dependrà exclusivament del rendiment de la cadena de transmissió, essent així:

$$\eta_{trans} = 0,98$$

A3.3. Força motriu

La força motriu és la necessària per moure el vehicle. Aquesta ve determinada per:

$$Pot = F_m \cdot v \rightarrow F_m = \frac{Pot}{v}$$

on: *Pot* és la potència real de sortida del motor i multiplicada pel rendiment de la transmissió.

v és la velocitat a la qual s'està movent el vehicle aplicant aquesta potència.

Per tant, si s'apliquen els valors amb la potència màxima de sortida del motor s'obté l'expressió en funció de la velocitat:

$$F_m = \frac{Pot_{Real MAX} \cdot \eta_{trans}}{v} = \frac{61\,000\,W \cdot 0,98}{v}$$

$$F_m = \frac{59\,780}{v} \, N$$

A4. PLÀNOLS

8 7 6 5 4 3 2 1

F F

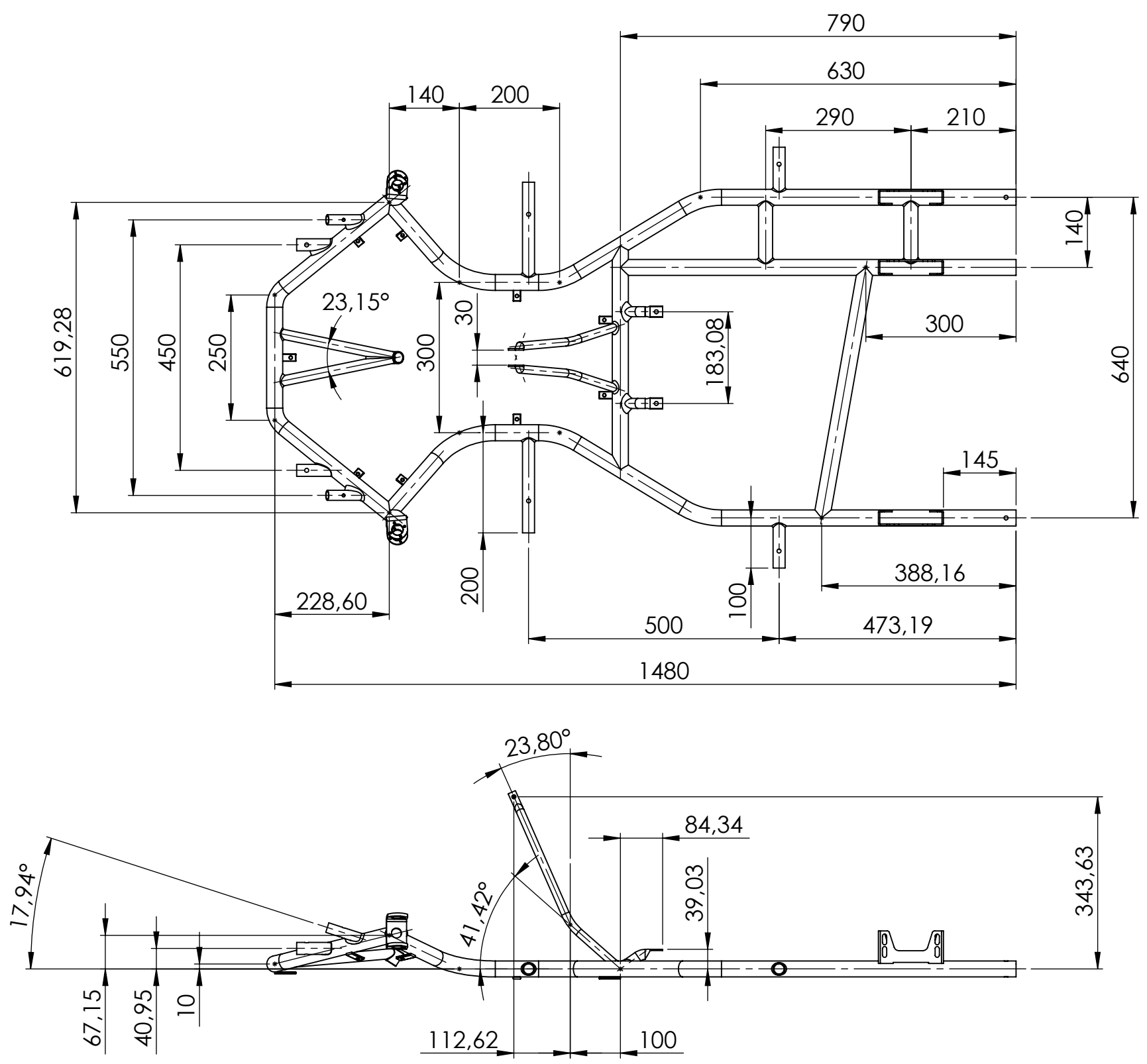
E E

D D

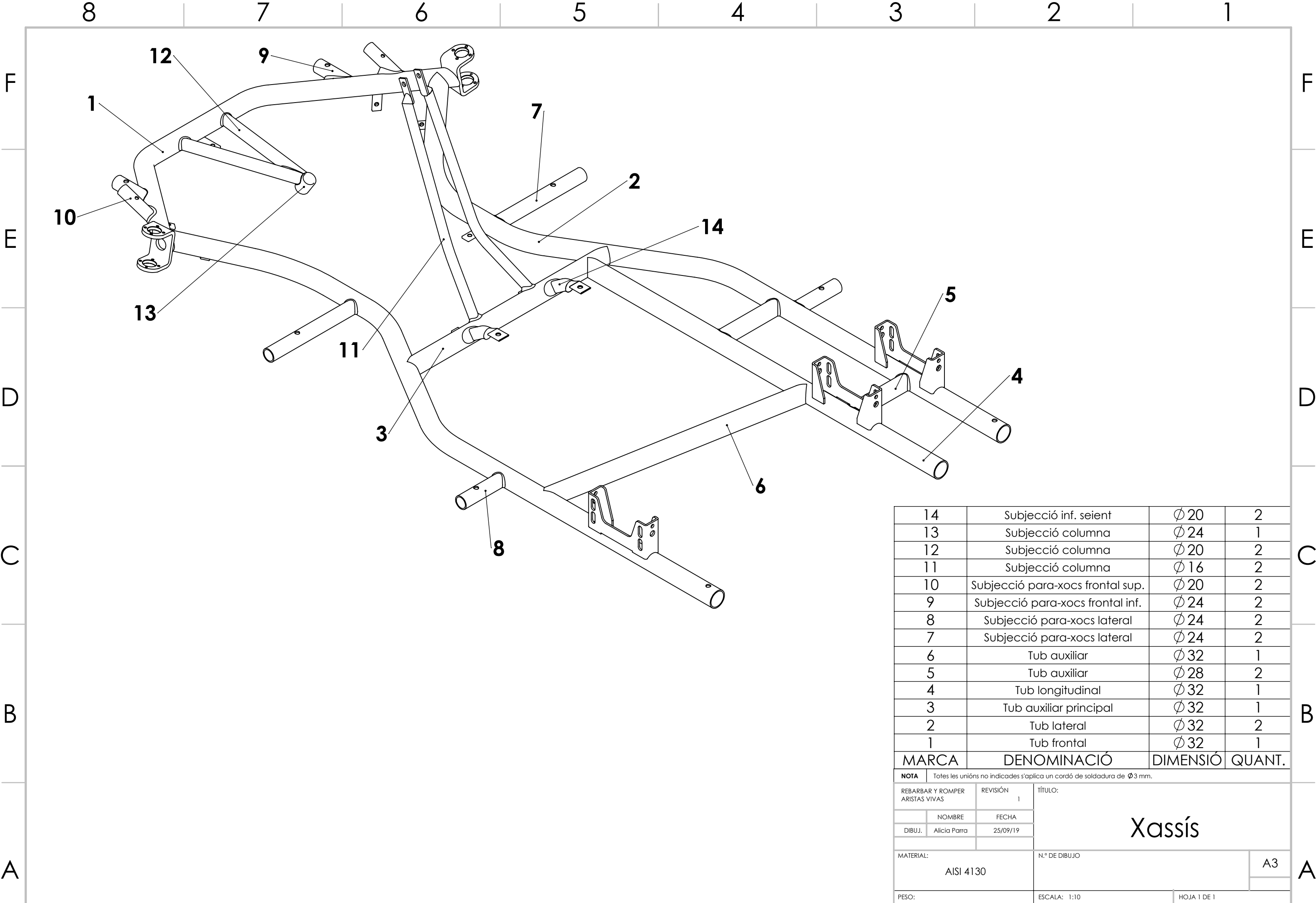
C C

B B

A A

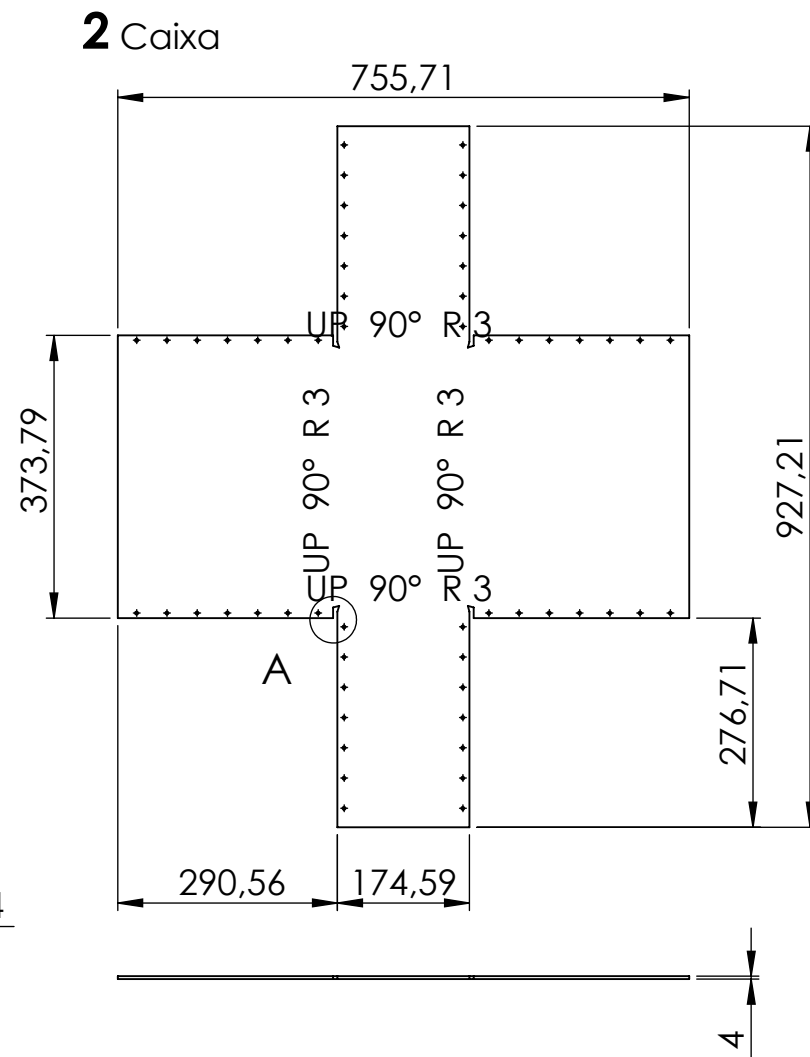
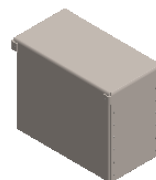
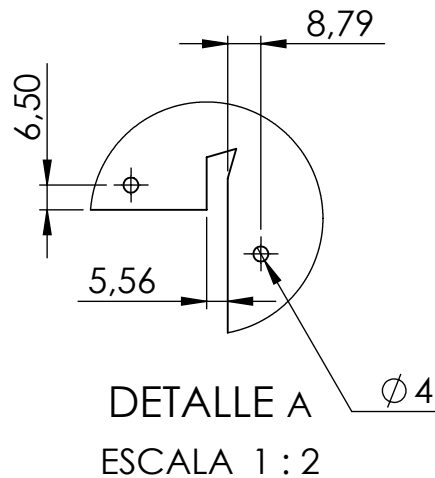
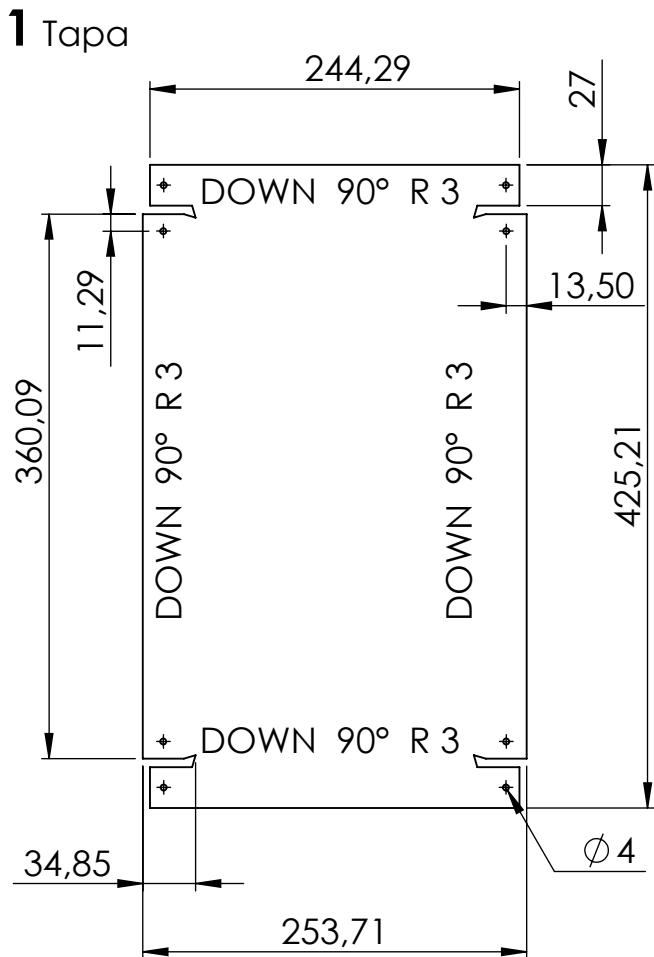


| | | | | |
|------------------------------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------|
| REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | REVISIÓN 1 | TÍTULO: Xassís | |
| | NOMBRE | FECHA | | |
| DIBUJ. | Alicia Parra | 25/09/19 | | |
| MATERIAL: AISI 4130 | | N.º DE DIBUJO | | A3 |
| PESO: | | ESCALA:1:50 | | HOJA 1 DE 1 |



| | | | |
|-------|----------------------------------|----------|--------|
| 14 | Subjecció inf. seient | Ø 20 | 2 |
| 13 | Subjecció columna | Ø 24 | 1 |
| 12 | Subjecció columna | Ø 20 | 2 |
| 11 | Subjecció columna | Ø 16 | 2 |
| 10 | Subjecció para-xocs frontal sup. | Ø 20 | 2 |
| 9 | Subjecció para-xocs frontal inf. | Ø 24 | 2 |
| 8 | Subjecció para-xocs lateral | Ø 24 | 2 |
| 7 | Subjecció para-xocs lateral | Ø 24 | 2 |
| 6 | Tub auxiliar | Ø 32 | 1 |
| 5 | Tub auxiliar | Ø 28 | 2 |
| 4 | Tub longitudinal | Ø 32 | 1 |
| 3 | Tub auxiliar principal | Ø 32 | 1 |
| 2 | Tub lateral | Ø 32 | 2 |
| 1 | Tub frontal | Ø 32 | 1 |
| MARCA | DENOMINACIÓ | DIMENSIÓ | QUANT. |

| | | | |
|---------------------------------|--|---|-------------|
| NOTA | | Totes les unions no indicades s'aplica un cordó de soldadura de Ø 3 mm. | |
| REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | REVISIÓN | 1 |
| | | NOMBRE | FECHA |
| DIBUJ. | | Alicia Parra | 25/09/19 |
| MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | |
| AISI 4130 | | A3 | |
| PESO: | | ESCALA: 1:10 | HOJA 1 DE 1 |



| | | | | |
|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|-------------|
| REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | REVISIÓN 1 | TÍTULO: | |
| | NOMBRE | FECHA | Caixa bateria | |
| DIBUJ. | Alicia Parra | 25/09/19 | | |
| MATERIAL: | | | N.º DE DIBUJO | A4 |
| AISI 4130 | | | | |
| PESO: | | | ESCALA: 1:10 | HOJA 1 DE 1 |